

Essi Rekilä

VARAUSKOLOIHIN TEHTÄVÄT ANKKURI- PULTTIKIINNITYKSET TEOLLISUUS- KOhteissa

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Diplomityö
Huhtikuu 2019

TIIVISTELMÄ

Essi Rekilä: Varauskoloihin tehtävät ankkuripulttikiinnitykset teollisuuskohteissa
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2019

Työssä tutkitaan vetorasituksessa olevia varauskolollisia ankkurointiliitoksia sementtipohjaisilla jälkivalumassoilla. Syksyllä 2018 julkaistu uusi betonirakenteiden kiinnityksiä käsittelevä eurokoodin osa EN 1992-4 määrittelee mitoituksen paikalla valetuille ja jälkiasennetuille ankkureille, mutta varauskolollisten ankkurien mitoitusta ei huomioida. Tällä hetkellä näiden liitosten mitoitus perustuu Suomessa kansalliseen standardiin SFS 4632. Standardi ei kuitenkaan soveltu kansainvälisiin projekteihin eikä siinä huomioida kaikkia teollisuusrakentamisessa käytettyjä pulttikokoja.

Työssä selvitettiin ja koottiin yhteen viimeisintä tutkimustietoa varauskolollisen ankkuroinnin mitoitukseen liittyen sekä tähän verraten arvioitiin eurokoodin soveltuvuutta ankkuriliitoksen mitoittamiseen. Tämän lisäksi työssä tutkittiin ankkurointiliitoksen eri komponenttien vaikutusta liitoksen kestävyYTEEN, erityisesti teholliseen korkeuteen. Ankkurin sitkeän teräsmurron ohjatesa laskentaa työssä mitoitettiin varauskolon mitat tilanteissa, joissa varauskolo tehtiin osaksi lopullista rakennetta jäävällä poimutetulla muottiputkella, poistettavalla muottiputkella ja poraamalla.

Tutkimuksen perusteella saatiin selville suositellut mitoitusmenetelmät ankkuriliitoksen laskemiseksi. Tutkittuja valmistusmenetelmiä kohden määritettiin varauskolon teholliset korkeudet ja sitä kautta myös lopulliset korkeudet. Myös liitokseen tarvittavat raudoitusmäärät laskettiin.

Avainsanat: varauskolo, ankkuripultti, ankkurointi, jälkivalu

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

ABSTRACT

Essi Rekilä: Grouted Anchor Bolts for Industrial Use
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Civil Engineering
April 2019

This Master's Thesis studies grouted anchor bolts under tensile load when manufactured using cementitious grouts. A new Eurocode EN 1992-4 concerning fastenings for use in concrete was published in the autumn of 2018, but this code does not take grouted anchors into consideration. At the moment in Finland, these anchor bolt fastenings are designed using a national standard SFS 4632. However, the standard is not applicable to international projects, and it does not include all the bolt sizes used in industrial construction.

Some of the latest research results concerning the study subject were looked into and collected to this thesis. The applicability of the Eurocode as a design method for grouted anchors was assessed based on the findings of the literary research. Additionally, the effects of the fastening components on the capacity of the joint were studied, the main focus being on the effective height of the breakout. The breakouts were designed in three different scenarios: using a corrugated steel pipe as a permanent casting mould, using a removable casting mould and drilling the breakout into the hardened concrete. The ductile steel failure of the anchor was used as a minimum resistance limit in the design.

Based on the research done in this thesis, a recommended design approach for grouted anchors was made. The effective heights, and thus the final heights, of the breakouts were determined for the aforementioned scenarios, while also determining the required reinforcement.

Keywords: breakout, anchor bolt, anchorage, grout

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Työ tehtiin Pöyry Finland Oy:n toimeksiannosta lokakuun 2018 ja huhtikuun 2019 välisenä aikana. Kiitos kaikille, jotka ovat kannustaneet ja auttaneet minua läpi tämän prosessin.

Erityiskiitos työn ohjaajana toimineelle Kimmo Yliselle, jolta sain paljon arvokkaita neuvoja ja opastusta työn edistyessä. Kiitos myös ohjausryhmässä mukana olleelle Tuomo Tuomelle sekä Tampereen yliopiston puolesta tarkastajina toimineille Matti Pentille ja Olli Kerokoskelle.

Aloittaessani korkeakouluopinnot vuonna 2013 oli tavoitteenani valmistua jonain päivänä diplomi-insinööriksi. Nyt se päivä on lähempänä kuin koskaan, ja kuluneet vuodet ovat todellakin olleet elämäni parasta aikaa. Voinkin siirtyä hyvillä mielin työelämän haasteisiin, sillä olen saanut siihen parhaat mahdolliset eväät näiden teekkarivuosien aikana. Kiitos siis kaikille matkan aikana mukana kulkeneille!

Tampereella, 30.4.2019

Essi Rekilä

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tausta.....	1
1.2	Tutkimuksen rajaus ja tavoitteet.....	3
1.3	Tutkimuksen suoritus ja raportin rakenne.....	4
2.	VARAUSKOLOJEN KÄYTTÖ ANKKUROIMISEEN RAKENTAMISESSA	6
2.1	Yleistä	6
2.2	Varauskolotyypit	7
2.2.1	Valumuotti.....	8
2.2.2	Käytettävä kiinnike	11
2.2.3	Jälkivalumassa	13
3.	VARAUSKOLOLLISEN ANKKUROINNIN KÄYTTÄYTYMINEN	14
3.1.1	Jälkivaletun ankkurin murtotavat.....	15
3.1.2	Zamora <i>et al.</i>	15
3.1.3	Subramanian ja Cook	16
3.1.4	Miltenberger	17
3.1.5	Burtz.....	19
3.2	Jälkivalun ja valumuotin rajapinta.....	20
4.	SUUNNITTELUUN TARKOITETUT STANDARDIT JA HYVÄKSYNNÄT ..	23
4.1	Eurokoodit ja niiden taustamateriaali	23
4.1.1	Betonin kartiomurto	23
4.1.2	Ulosvetomurto	27
4.1.3	Yhdistetty kartio- ja ulosvetomurto	27
4.1.4	Betonin halkeamismurto	30
4.1.5	Reunan lohkeamismurto.....	32
4.1.6	Lisäraudoituksen vaikutus.....	36
4.1.7	Raudoituksen teräsmurto.....	37
4.1.8	Raudoituksen ankkurointimurto	38
4.1.9	Työsauman kestävyyslaskenta.....	40
4.2	Yhdysvaltalaiset standardit ja ohjeet	43
4.2.1	Kartiomurtokestävyys	45
4.2.2	Ulosvetomurtokestävyys	47
4.2.3	Lohkeamismurtokestävyys	48
4.2.4	Halkeamismurtokestävyys.....	48
4.2.5	Yhdistetty ulosveto- ja kartiomurtokestävyys	49
4.3	Suomen kansalliset standardit	51
4.4	Tuotekohtaiset hyväksynnät.....	54
5.	LIITOKSEN OMINAISUUKSIEN VAIKUTUS KESTÄVYYTEEN.....	56
5.1	Eurokoodin soveltuvuus mitoitusmenetelmäksi.....	56
5.2	Käytettävät ankkurityypit ja osavarmuuskertoimet.....	61

5.3	Varauskolon toteutuksen vaikutus.....	63
5.4	Jälkivalumassan vaikutus ja sen vaatimukset.....	72
5.5	Raudoitusratkaisuiden vaikutus.....	75
5.6	Varauskolon lopullisen korkeuden määrittäminen.....	78
6.	SUUNNITTELUOHJE JA SUOSITELTAVAT ANKKUROIDINTIRATKAISUT	80
6.1	Suunnitteluohje.....	80
6.2	Ankkurointiratkaisut.....	81
7.	YHTEENVETO.....	84
	LÄHTEET.....	86

LIITE A: SUOSITELTAVAT MITOITUSMENETELMÄT

LIITE B: TEHOLLISIA KORKEUKSIA

LIITE C: LISÄRAUDOITUS

LIITE D: RAKENTEESEEN JÄÄVÄN MUOTTIPUTKEN MITAT

LIITE E: VARAUSKOLON MITAT, KUN MUOTTI EI JÄÄ OSAKSI RAKENNETTA TAI KOLO PORATAAN

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Standardin SFS 4632 [1] mukainen ankkurointi muottiputkella</i>	<i>2</i>
Kuva 2.	<i>Standardin SFS 4632 [1] mukainen muottiputki.....</i>	<i>2</i>
Kuva 3.	<i>Varauskolollisen ankkurointiliitoksen rakenne</i>	<i>7</i>
Kuva 4.	<i>Varauskolon mahdollisia muotoja [5, muokattu].....</i>	<i>9</i>
Kuva 5.	<i>Standardin SFS 4633 [14] mukainen B-tyypin perustusruuviankkurointi</i>	<i>10</i>
Kuva 6.	<i>Standardin SFS 4634 [15] mukaiset asennustavat C-tyypin perustusruuville</i>	<i>10</i>
Kuva 7.	<i>Standardin DIN-529 [16] mukaisia ankkuripultteja</i>	<i>11</i>
Kuva 8.	<i>Tyssäkantaisia ankkuripultteja [18, muokattu]. Kannan malli vasemmalta oikealle: ankkurimutteri, ankkurilevy ja tehtaalla valmistettu tyssäkantta.</i>	<i>12</i>
Kuva 9.	<i>Harjaterästangolliset ankkuripultit [19, s. 4]</i>	<i>12</i>
Kuva 10.	<i>Ankkurin murtotavat by 210:n [30] mukaisesti.....</i>	<i>14</i>
Kuva 11.	<i>Vedossa olevan tartunta-ankkurin murtotavat lähteen [32] mukaisesti.....</i>	<i>15</i>
Kuva 12.	<i>Esimerkki eurokoodin [3, luku 7.2] mukaisen toteutuvan projektiopinta-alan laskemisesta.....</i>	<i>25</i>
Kuva 13.	<i>Referenssiprojektioalan laskenta eurokoodin [3, luku 7.2] mukaisesti.....</i>	<i>26</i>
Kuva 14.	<i>Esimerkki EN1992-4:n [3] mukaisesta toteutuva projektioalan laskennasta lohkeamismurron tapauksessa, kun kiinnikkeen sijaitsevat keskellä perusvalua.....</i>	<i>34</i>
Kuva 15.	<i>Esimerkki EN1992-4:n [3] mukaisesta todellisen projektioalan laskennasta lohkeamismurron tapauksessa, kun kiinnikkeen sijaitsevat perusvalun alaosassa.....</i>	<i>35</i>
Kuva 16.	<i>EN1992-4:n [3] mukainen referenssiprojektioalan laskenta lohkeamismurron tapauksessa</i>	<i>35</i>
Kuva 17.	<i>EN 1992-4 [3, muokattu] mukainen lisä- (1) ja pintaraudoitus (2).....</i>	<i>36</i>
Kuva 18.	<i>EN 1992-4 [3] mukainen lisäraudoituksen, ankkuroinnin ja pintaraudoituksen muodostama ristikkomalli</i>	<i>37</i>
Kuva 19.	<i>Raudoituksen tartuntalujuuden laskentaan tarvittavia EN 1992-1-1 [34] mukaisia geometrisiä suureita.....</i>	<i>39</i>
Kuva 20.	<i>Vaarnatun työsauman rajamitat EN 1992-1-1:n [32] mukaan.....</i>	<i>41</i>
Kuva 21.	<i>Karhean ja hyvin karhean betonipinnan määrittely [51, kohta 8.2.6]. Vasemmalla jyrsimällä saavutettu pinta ja oikealla pinta, josta on poistettu sementtiliima.</i>	<i>42</i>
Kuva 22.	<i>ACI-318M-14:n [8] mukainen ankkurointiraudoitus, jota käyttämällä voidaan korvata kartiomurtokestävyys</i>	<i>47</i>
Kuva 23.	<i>Projisoidut pinta-alat yksittäiselle ankkurille.....</i>	<i>50</i>
Kuva 24.	<i>SFS 4632 mukaiset A-tyypin perustusruuvien asennustavat.....</i>	<i>52</i>

Kuva 25.	<i>Mitoitusmenetelmien vertailuun käytetty teoreettinen koetilanne.....</i>	<i>57</i>
Kuva 26.	<i>Koetilanteen kartiomurron ominaiskestävyydet.....</i>	<i>58</i>
Kuva 27.	<i>Koetilanteen ulosvetomurron ominaiskestävyydet</i>	<i>59</i>
Kuva 28.	<i>Koetilanteen yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron ominaiskestävyydet</i>	<i>60</i>
Kuva 29.	<i>Vertailussa käytettävät ankkurit. Vasemmalla ankkurityyppi 1 ja oikealla ankkurityyppi 2. [60]</i>	<i>62</i>
Kuva 30.	<i>Ankkurityyppien teräsmurron mitoituskestävyydet.....</i>	<i>63</i>
Kuva 31.	<i>Teholliset korkeudet teräslaadulle 4.6 perusvalun ollessa C25/30.....</i>	<i>64</i>
Kuva 32.	<i>Teholliset korkeudet teräslaadulle 4.6 perusvalun ollessa C30/37.....</i>	<i>65</i>
Kuva 33.	<i>Teholliset korkeudet teräslaadulle 4.6 perusvalun ollessa C35/45.....</i>	<i>65</i>
Kuva 34.	<i>Teholliset korkeudet teräslaadulle 5.6 perusvalun ollessa C25/30.....</i>	<i>66</i>
Kuva 35.	<i>Teholliset korkeudet teräslaadulle 5.6 perusvalun ollessa C30/37.....</i>	<i>66</i>
Kuva 36.	<i>Teholliset korkeudet teräslaadulle 5.6 perusvalun ollessa C35/45.....</i>	<i>67</i>
Kuva 37.	<i>Teholliset korkeudet teräslaadulle 8.8 perusvalun ollessa C25/30.....</i>	<i>67</i>
Kuva 38.	<i>Teholliset korkeudet teräslaadulle 8.8 perusvalun ollessa C30/37.....</i>	<i>68</i>
Kuva 39.	<i>Teholliset korkeudet teräslaadulle 8.8 perusvalun ollessa C35/45.....</i>	<i>68</i>
Kuva 40.	<i>Teholliset korkeudet teräslaadulle 10.9 perusvalun ollessa C25/30.....</i>	<i>69</i>
Kuva 41.	<i>Teholliset korkeudet teräslaadulle 10.9 perusvalun ollessa C30/37.....</i>	<i>69</i>
Kuva 42.	<i>Teholliset korkeudet teräslaadulle 10.9 perusvalun ollessa C35/45.....</i>	<i>70</i>
Kuva 43.	<i>Teholliset korkeudet R3- ja R4-luokan jälkivalumassoilla perusvalun ollessa C25/30</i>	<i>74</i>
Kuva 44.	<i>Teholliset korkeudet R3- ja R4-luokan jälkivalumassoilla perusvalun ollessa C30/37</i>	<i>74</i>
Kuva 45.	<i>Teholliset korkeudet R3- ja R4-luokan jälkivalumassoilla perusvalun ollessa C35/45</i>	<i>75</i>
Kuva 46.	<i>Lisäraudoituksen laskentamalli.....</i>	<i>77</i>

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1.	<i>Nimellistä tartuntalujuutta laskettaessa käytettävän kertoimen K arvoja eri testimäärillä [36].....</i>	<i>18</i>
Taulukko 2.	<i>Kertoimia leikkauskestävyyden lasketaan [39, s. II.30, muokattu].....</i>	<i>21</i>
Taulukko 3.	<i>EN 1992-1-1[34, muokattu] mukaiset muuttujien η_1 ja η_2 arvot.....</i>	<i>39</i>
Taulukko 4.	<i>EN 1992-1-1 mukainen kertoimien α_1 ja α_1 määrittäminen [34, muokattu].....</i>	<i>39</i>
Taulukko 5.	<i>Betonipinnan karheusluokittelu EN1992-1-1 [34] mukaan</i>	<i>41</i>
Taulukko 6.	<i>Betonipinnan karheusluokittelu prEN1992-1-1 mukaan [51, muokattu].....</i>	<i>42</i>
Taulukko 7.	<i>Pelkästä koheesiosta tulevat leikkauskestävyyden ominaisarvot.....</i>	<i>43</i>
Taulukko 8.	<i>ACI-318M-14:n [8] mukaiset kriittiset etäisyydet</i>	<i>45</i>
Taulukko 9.	<i>ACI-318M-14:n [8] mukaiset tyssäkantasten ankkureiden ja tartunta-ankkureiden halkeamismurron estävät minimietäisyydet.....</i>	<i>49</i>
Taulukko 10.	<i>Tartuntalujuuden minimiarvot tartunta-ankkureille standardin ACI-318M-14 mukaan [8]</i>	<i>51</i>
Taulukko 11.	<i>SFS 4632 mukainen mitoitus perustusruuville staattisessa kuormituksessa [1, muokattu]</i>	<i>53</i>
Taulukko 12.	<i>Teoreettisessa koetilanteessa käytetyt ankkuroinnin arvot.....</i>	<i>57</i>
Taulukko 13.	<i>Laskennassa käytettävät ankkureihin liittyvät osavarmuuskertoimet.....</i>	<i>62</i>
Taulukko 14.	<i>Laskennassa käytettävät teräsbetoniin liittyvät osavarmuuskertoimet.....</i>	<i>62</i>
Taulukko 15.	<i>Laskentatulosten vertailu</i>	<i>71</i>
Taulukko 16.	<i>Vaadittava lujuusluokka rakennebetonijälkivalulle, kun käytetään ankkurityyppejä I</i>	<i>72</i>
Taulukko 17.	<i>Betonin ja ankkurin lujuusluokat, joissa kartiomurto on määräävä murtotapa</i>	<i>76</i>
Taulukko 18.	<i>Lisäraudoituksen vähimmäispinta-ala kartiomurron estämiseksi</i>	<i>77</i>
Taulukko 19.	<i>Pintaraudoituksen vähimmäispinta-ala halkeamismurron estämiseksi</i>	<i>78</i>
Taulukko 20.	<i>Varauskolon lopulliseen korkeuteen vaikuttavat mitat.....</i>	<i>79</i>
Taulukko 21.	<i>Ankkurointiratkaisuja</i>	<i>83</i>
Taulukko B.1.	<i>Tehollisia korkeuksia, kun perusvalu on C25/30</i>	<i>92</i>
Taulukko B.2.	<i>Tehollisia korkeuksia, kun perusvalu on C30/37</i>	<i>93</i>
Taulukko B.3.	<i>Tehollisia korkeuksia, kun perusvalu on C35/45</i>	<i>94</i>
Taulukko C.1.	<i>Lisäraudoituksen halkaisija ja leikemäärä vaarnatulla pinnalla</i>	<i>95</i>
Taulukko C.2.	<i>Lisäraudoituksen halkaisija ja leikemäärä R3-jälkivalulla.....</i>	<i>95</i>

Taulukko C.3.	<i>Lisäraudoituksen halkaisija ja leikemäärä R4-jälkivalulla.....</i>	<i>95</i>
Taulukko D.1.	<i>Muottiputken mitat, kun perusvalu on C25/30.....</i>	<i>96</i>
Taulukko D.2.	<i>Muottiputken mitat, kun perusvalu on C30/37.....</i>	<i>97</i>
Taulukko D.3.	<i>Muottiputken mitat, kun perusvalu on C35/45.....</i>	<i>98</i>
Taulukko E.1.	<i>Varauskolon mitat, kun perusvalu on C25/30 ja käytetty jälkivalu kuuluu R4-luokkaan.....</i>	<i>99</i>
Taulukko E.2.	<i>Varauskolon mitat, kun perusvalu on C30/37 ja käytetty jälkivalu kuuluu R4-luokkaan.....</i>	<i>100</i>
Taulukko E.3.	<i>Varauskolon mitat, kun perusvalu on C35/45 ja käytetty jälkivalu kuuluu R4-luokkaan.....</i>	<i>101</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

abZ	saksalainen tuotehyväksyntä
ACI	engl. American Concrete Institute, yhdysvaltalainen betonirakentisiin erikoistunut instituutti
CE-merkintä	tuotteeseen tuleva merkintä, jolla varmistetaan sen täyttävän EU:n direktiivien vaatimukset
CC-menetelmä	engl. Concrete Capacity Method
DIN	saksalainen standardi
DoP	engl. Declaration of Performance, suoritustasoilmoitus
EN	eurooppalainen standardi
EAD	engl. European Assessment Document, eurooppalainen arviointidokumentti rakennustuotteille
EPS	engl.. expanded polystyrene, polystyreenista laajentamalla valmistettu eristemateriaali
ETPS	engl. European Technical Product Specification, eurooppalainen tekninen tuotespesifointi
ISO	engl. International Organization for Standardization, kansainvälinen standardoimisjärjestö
PIP	engl. Process Industry Practices, prosessiteknologian eri osapuolten yhteenlittymä
SFS	Suomen Standardoimisliitto SFS ry
2D LRA	engl. 2D Laser Roughness Analyser, 2D-karheusanalyysilaser
α	saumassa olevan raudoituksen kulma sauman pintaan nähden (ks. kuva 20)
α_1	ankkurointikestävyyteen liittyvä kerroin
α_2	ankkurointikestävyyteen liittyvä kerroin
α_d	raudoituksen vaarnaantumisen vaikutuksia kuvaava kerroin saumassa
α_{sus}	pitkäaikaisten kuormitusten suhde kaikkiin kuormituksiin, kun tarkastelu tehdään murtorajatilassa
β	puristussauvan kulmaan liittyvä kerroin työsauman kaavassa
γ_c	betonin osavarmuuskerroin
γ_{coh}	koheesion osavarmuuskerroin
γ_{fr}	kitkan osavarmuuskerroin
γ_{Mc}	osavarmuuskerroin
γ_{Mp}	osavarmuuskerroin
γ_{Msp}	halkeamismurtoon liittyvä osavarmuuskerroin
$\gamma_{Ms,re}$	raudoituksen osavarmuuskerroin
η_1	raudoituksen tartuntalujuuteen liittyvä kerroin
η_2	raudoituksen tartuntalujuuteen liittyvä kerroin
λ_a	kevytbetonin käyttöön liittyvä kerroin
μ	pinnan karheudesta riippuva kitkakerroin
μ_d	kitkakertoimen mitoitusarvo
τ_0	testaustuloksista laskettu tartuntalujuuden arvo
τ'_0	nimellinen tartuntalujuus betonin ja jälkivalun rajapinnalle

τ_{Rk}	jälkiasennettavan kiinnikkeen betonin lujuusluokkaan perustuva tartuntalujuus
$\tau_{Rk,cr}$	kiinnikkeen tartuntalujuus haljenneessa betonissa
$\tau_{Rk,20}$	kiinnikkeen tartuntalujuus halkeilemattomassa betonissa, jonka lujuusluokka on C20/25
$\tau_{Rk,ucr}$	kiinnikkeen tartuntalujuus halkeamattomassa betonissa
ν_{Edi}	rajapinnassa vaikuttavan leikkausjännityksen mitoitusarvo
ν_{Rdi}	rajapinnassa vaikuttavan leikkauskestävyyden mitoitusarvo
ρ	rajapinnan läpikulkevan raudoituksen poikkipinta-alan ja koko rajapinnan pinta-alan suhde
σ_n	leikkausvoiman kanssa samanaikaisesta ulkoisesta normaalivoimasta aiheutuva pienin mahdollinen normaalijännitys saumassa
ϕ_{re}	raudoitteen halkaisija
$\Psi_{\tau 0}$	yhdistettyyn kartio- ja ulosvetomurtoon huomioiva kerroin Burtzin kaavassa
$\Psi_{c,e}$	kartiomurtoon liittyvä reunavaikutuksen huomioiva kerroin Burtzin kaavassa
Ψ_{Ncr}	betonin halkeilun huomioiva kerroin Miltenbergerin kaavoissa
Ψ_{Ne}	betonin reunojen vaikutuksen huomioiva kerroin Miltenbergerin kaavoissa
Ψ_{Ng}	ryhmävaikutuksen huomioiva kerroin Miltenbergerin kaavoissa
$\psi_{b,sp}$	kerroin, joka huomioi betonivalun todellisen paksuuden halkeamismurron kaavassa
$\psi_{c,N}$	betonin halkeiluun liittyvä kerroin kartiomurrossa
$\psi_{c,P}$	betonin halkeiluun liittyvä kerroin ulosvetomurrossa
$\psi_{cp,N}$	kiila-ankkureihin liittyvä kerroin kartiomurrossa
$\psi_{cp,Na}$	betonin halkeiluun liittyvä kerroin yhdistetyssä kartio- ja ulosvetomurrossa ACI-318:ssa
$\psi_{ec,N}$	kerroin, joka liittyy kiinnikkeiden ryhmävaikutukseen kartiomurron kaavassa
$\psi_{ec,Nb}$	kerroin, jolla otetaan huomioon ryhmävaikutus, kun ryhmän kiinnikkeisiin kohdistuu samanaikaisesti erisuuruisia vetovoimia lohkeamismurron kaavassa
$\psi_{ec,Np}$	kerroin, joka ottaa huomioon ryhmävaikutuksen, kun ryhmässä oleviin kiinnikkeisiin kohdistuu erisuuruisia vetovoimia kartio- ja ulosvetomurron kaavassa
$\psi_{ed,Na}$	reunavaikutuksen huomioiva kerroin yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron kaavassa ACI-318:ssa
$\psi_{g,Nb}$	kerroin, joka huomioi reunansuuntaisen kiinnikerivin ryhmävaikutuksen lohkeamismurron kaavassa
$\psi_{g,Np}$	kerroin, joka ottaa huomioon vierekkäisten tartunta-ankkurien vaikutuksen kartio- ja ulosvetomurron kaavassa
$\psi_{M,N}$	kerroin, joka huomioi puristusvoiman vaikutuksen betonin ja kiinnikkeen välillä, kun liitoksessa vaikuttaa taivutusmomentti
$\psi_{re,N}$	kerroin, joka ottaa huomioon pintaraudoituksen ja lohkeilun vaikutuksen
$\psi_{s,N}$	kerroin, joka huomioi betonin reunavaikutuksen kartiomurron kaavassa

$\psi_{s,Nb}$	kerroin, joka ottaa huomioon reunan vaikutuksen jännitysten jakautumisessa lohkeamismurron kaavassa
$\psi_{s,Np}$	kerroin, joka huomioi perusvalun reunojen vaikutuksen jännitysten jakautumisessa kartio- ja ulosvetomurron kaavassa
ψ_{sus}	pitkäaikaiskuormituksiin liittyvä kerroin kartio- ja ulosvetomurron kaavassa
ψ_{sus}^0	kerroin, joka huomioi pitkäaikaiskuormitusten vaikutuksen tartuntalujuuteen
$\Sigma A_{s,re}$	halkeamisvoimien välittämiseen osallistuvan raudoituksen pinta-ala
$A_{s,re,i}$	yhden lisäraudoitteen pinta-ala
A	tartuntalevyn halkaisija
a	raudoitetankojen jakoväli kuvassa 19
$A_{c,N}$	kartiomurrossa käytettävä toteutuva projektioala (ks. kuva 12)
$A_{c,N}^0$	kartiomurrossa käytettävä referenssiprojektioala (ks. kuva 13)
$A_{c,Nb}$	toteutuva projektioala lohkeamismurron kaavassa
$A_{c,Nb}^0$	referenssiprojektioala lohkeamismurron kaavassa
A_h	tyssäkannan voimaa välittävä pinta-ala
A_N	kiinnikeryhmän vaikutusala Miltenbergerin kaavoissa
A_{N0}	yhden kiinnikkeen vaikutusala Miltenbergerin kaavoissa
A_{Na}	kiinnikkeen projisoitu vaikutusala ACI-318:ssa
A_{Na0}	kiinnikkeen projisoitu vaikutusala, kun reunaetäisyydet ovat suurempia kuin ominaisreunaetäisyys ACI-318:ssa
$A_{p,N}$	toteutuva tartunta-ala
$A_{p,N}^0$	referenssitartunta-ala
c	pinnan karheudesta riippuva koheesiokerroin työsauman laskennassa tai betonipeitteen paksuus ankkurointipituuden laskennassa (ks. kuva 19)
c_1	reunaetäisyys kuvassa 12, 14, 15, 16 ja 19
c_2	reunaetäisyys kuvassa 12, 14, 15, 16
c_{Na}	ominaisreunaetäisyys ACI318-kaavoissa
c_e	liitoksessa esiintyvä pienin reunaetäisyys
c_{cr}	kriittinen reunaetäisyys Miltenbergerin kaavoissa
$c_{cr,N}$	ominaisreunaetäisyys kartiomurron kaavassa
$c_{cr,Np}$	ominaisreunaetäisyys kartio- ja ulosvetomurron kaavassa
$c_{cr.sp}$	ominaisreunaetäisyys halkeamismurron kaavassa
c_d	koheesiokertoimen mitoitusarvo tai mitta taulukossa 4
c_{max}	liitoksen suurin reunaetäisyys
c_{min}	minimireunaetäisyys
COV	varianssi
d	hammastuksen syvyys työsauman laskennassa
D	muottiputken halkaisija
d_0	varauskolon halkaisija
d_g	betonin kiviaineen halkaisija
d_h	käytettävän kiinnikkeen halkaisija tai leveys
d'_h	käytettävän kiinnikkeen nimellinen halkaisija
f_{bd}	raudoitteen tartuntalujuuden mitoitusarvo

f_{cd}	betonin lieriöpuristuslujuuden mitoitusarvo
f_{ck}	betonin lieriöpuristuslujuuden ominaisarvo
f_{ctd}	betonin vetolujuuden mitoitusarvo
$f_{ctk,0,05}$	betonin vetolujuuden ominaisarvo 5 % -fraktaalien mukaan
$f_{yd,re}$	raudoitteen mitoitusmyötölujuus
$f_{yk,re}$	raudoitteen ominaismyötölujuus
F_e	suurin sallittu esikivistysvoima
F_{staatt}	suurin sallittu staattinen aksiaalikuormitus
h	perusvalun paksuus
h_1	hammastuksen ulokkeellisen osan leveys viisteet mukaan lukien työsauman laskennassa
h_2	hammastuksen syvennyksen leveys viisteet mukaan lukien työsauman laskennassa
h_{ef}	tehollinen korkeus
h'_{ef}	tehollinen korkeus kartiomurron kaavassa, kun reunaetäisyys on ainakin kolmelta sivulta ominaisreunaetäisyyttä pienempi
$h_{lisä}$	varauskolon teholliseen korkeuteen lisättävä lisäkorkeus
h_{min}	betonivalun minimipaksuus
h_{tot}	varauskolon lopullinen korkeus
K	testien määrään liittyvä kerroin taulukossa 1
k	vetovoimien siirtymisen tehokkuutta kuvaava kerroin
k_1	betonin halkeiluun liittyvä kerroin kartiomurron kaavassa
k_2	betonin halkeiluun liittyvä kerroin ulosvetomurron kaavassa
k_4	käytettävästä kiinnikkeestä riippuva kerroin halkeilumurron kaavassa
k_5	betonin halkeiluun liittyvä kerroin lohkeamismurron kaavassa
k_c	ankkurityypin huomioiva kerroin kartiomurrossa
L	A-perustusruuvien kokonaismitta
L_1	perusvalun pinnan ja ruuvien pää välisen etäisyys
L_2	perusvalun ja tartuntalevyn pinnan välinen etäisyys
l_1	ankkurointipituus murtokartioon
l_{bd}	ankkurointipituus perusvaluun ACI-318:ssa
l_d	ankkurointipituus perusvaluun ACI-318:ssa
dh	ankkurointipituus murtokartioon
M_e	suurin sallittu pultin esikivistysmomentti
$\sum N_{Ed}$	liitokseen kuuluviin vedossa oleviin kiinnikkeisiin vaikuttavien mitoitusvetovoimien summa
N_{Ed}	vedossa olevan kiinnikkeen vetojännityksen mitoitusarvo
$N_{Ed,re}$	lisäraudoituksessa vaikuttavan vetovoiman mitoitusarvo
N_p	testituloksista laskettu ulosvetokestävyys
$N_{Rd,a}$	lisäraudoituksen ankkurointimurron mitoituskestävyys
$N_{Rd,a,i}^0$	yksittäisen raudoitetangon ankkurointikestävyyden mitoitusarvo
$N_{Rd,c}$	vedossa olevan kiinnikkeen kartiomurtoon liittyvä kestävyys mitoitusarvo
$N_{Rd,cb}$	vedossa olevan kiinnikkeen betonin reunan lohkeamismurtoon liittyvä mitoituskestävyys
$N_{Rd,p}$	vedossa olevan kiinnikkeen ulosvetomurtoon liittyvä kestävyys mitoitusarvo

$N_{Rd,pc}$	vedossa olevan kiinnikkeen yhdistettyyn ulosveto- ja kartiomurtoon liittyvä kestävyysden mitoitusarvo
$N_{Rd,re}$	lisäraudoituksen teräsmurron mitoituskestävyys
$N_{Rd,sp}$	kiinnikkeen halkeamismurtoon liittyvä mitoituskestävyys
$N_{Rk,c}$	vedossa olevan kiinnikkeen kartiomurtokestävyyden ominaisarvo
$N_{Rk,c}^0$	yksittäisen kiinnikkeen kestävyys ilman vierekkäisten kiinnikkeiden ja perustabetonin vaikutusta
$N_{Rk,cb}$	vedossa olevan kiinnikkeen betonin reunan lohkeamismurtoon liittyvä ominaiskestävyys
$N_{Rk,cb}^0$	yksittäisen kiinnikkeen lohkeamismurtoon liittyvä ominaiskestävyys ilman vierekkäisten kiinnikkeiden tai perusvalun reunan vaikutusta
$N_{Rk,p}$	kiinnikkeen ulosvetokestävyyden ominaisarvo
$N_{Rk,p}^0$	yhden kiinnikkeen ominaiskestävyys ilman vierekkäisten kiinnikkeiden tai perustabetonin reunojen vaikutusta yhdistetylle kartio- ja ulosvetomurrolle
$N_{Rk,sp}^0$	yksittäisen kiinnikkeen ominaiskestävyys halkeamismurrolle ilman vierekkäisten kiinnikkeiden ja perusvalun reunojen vaikutusta
$N_{Rk,pc}$	yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron ominaiskestävyys yhdelle kiinnikkeelle
$N_{Rk,re}$	lisäraudoituksen teräsmurron ominaiskestävyys
$N_{Rk,sp}$	halkeamismurtoon liittyvä ominaiskestävyys liitokselle
n	kiinnikkeiden lukumäärä
n_{re}	raudoitetankojen lukumäärä
R_m	keskimääräinen kolosyvyys työsaumassa
S	tartuntalevyn paksuus
s_1	jakoväli kuvassa 12
s_2	jakoväli kuvassa 12, 14 ja 15
s_{cr}	kriittinen jakoväli
$s_{cr,N}$	ominaisjakoväli kartiomurron kaavassa
$s_{cr,Np}$	ominaisjakoväli kartio- ja ulosvetomurron kaavassa
$s_{cr,sp}$	ominaisjakoväli halkeamismurron kaavassa
s_{min}	minimijakoväli
v	lujuuden pienennyskerroin

1. JOHDANTO

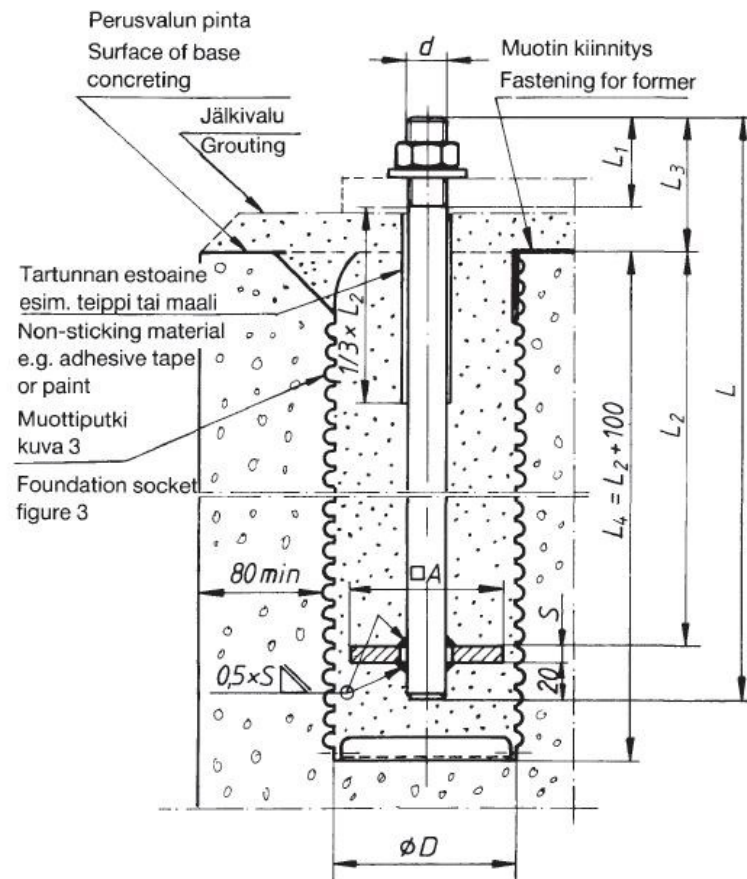
1.1 Tutkimuksen tausta

Betonirakenteisiin asennettavien ankkuripulttien käyttö on nykyisin hyvin yleistä. Pultteja käytetään monenlaisissa kohteissa, esimerkiksi rakennusten perustuksissa sekä laitekiinnityksissä. Erityisesti teollisuuskohteissa ankkuripultit ovat hyvin tyypillinen ratkaisu laitteiden ja säiliöiden kiinnityksessä.

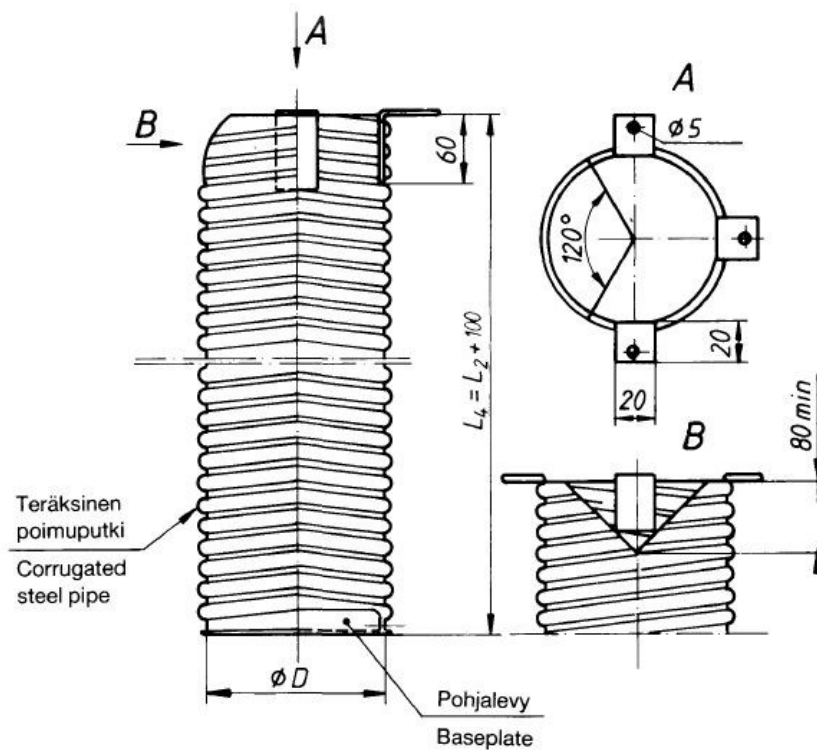
Ankkuripulttien asentaminen betonirakenteisiin voidaan tehdä useammalla tavalla: Yksi vaihtoehto on asentaa pultit suoraan paikoilleen ennen valua. Toinen mahdollinen tapa on muotittaa tai porata valettavaan betonirakenteeseen varauskolo, johon ankkuripultti voidaan asentaa betonin kovettumisen jälkeen. Varauskolat auttavat myös työmaan vaiheistuksessa.

Suomessa ankkuripultit asennetaan tyypillisesti varauskoloihin, ja yleiseksi käytännöksi on muodostunut teräksisten poimuputkien käyttö valumuotteina. Tällöin teräksestä valmistettu umpipohjainen rypytetty putki asennetaan valettavaan betonirakenteeseen ennen valua, jolloin se jää lopulliseksi osaksi rakennetta. Poimuputkien käyttö nopeuttaa ja helpottaa työmaalla tapahtuvaa asennusta, joten niiden käyttö on perusteltua.

Suomen Standardoimisliitto SFS on julkaissut standardin *SFS 4632 Laitteperustukset. Perustusruuvi. Tyyppi A* [1], johon poimutettujen muottiputkien käyttö perustuu. Ankkurointirakenne koostuu umpipohjaisesta teräksisestä muottiputkesta, joka on poimutettu, levypäisestä ankkurointipultista sekä muottiputken kiinnityksistä. Kuvat 1 ja 2 havainnollistavat ankkurointia ja käytettävää muottiputkea. Suomessa käytössä olevan Spiralo-muottiputken käyttö perustuu tähän standardiin.



Kuva 1. Standardin SFS 4632 [1] mukainen ankkurointi muottiputkella



Kuva 2. Standardin SFS 4632 [1] mukainen muottiputki

Kuten aikaisemmin mainittiin, ankkuripultteja käytetään yleisesti teollisuuskohteissa. Myös poimutetut muottiputket ovat pääasiallisesti käytössä teollisuuden kohteissa. Muottiputkia käytetään erityisesti tilanteissa, joissa betonirakenteisiin kiinnitetään suu-
rehkoja ankkuripultteja tai pulttien asennus vaatii tavanomaista suurempaa tarkkuutta. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi edellä mainitut reaktorien säiliöiden ja laiteperustusten kiinnitykset.

Käyttökohteidensa takia muottiputki soveltuisi siten hyvin myös laajoihin, kansainvälisiin projekteihin. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin kansainvälisen standardoinnin puute. Poimutetulle muottiputkiankkuroinnille on olemassa tuotekohtainen hyväksyntä esimerkiksi Saksassa [2], mutta hyväksyntöjen kansallinen laatu estää niiden käytön kansainvälisesti.

Kansainvälisen standardoinnin lisäksi poimutetun muottiputken käytössä on muitakin ongelmakohtia. Suomen kansallisessa standardissa [1] esitetty mittataulukko ankkuroinnin suunnitteluun on puutteellinen, mikä johtaa epävarmoihin suunnitelmiin pultin halkaisijan ollessa 36 mm tai enemmän. Tämä tarkoittaa, että suurien ankkuripulttien ankkurointi on laskettava. Ankkuroinnin laskemiseen johtaa myös edellä mainittu kansainvälisen standardoinnin puute.

Syksyllä 2018 julkaistussa betonikiinnitysten suunnitteluohjeessa EN 1992-4 [3] ei kuitenkaan määritellä murtotapoja tapaukselle, jossa varauskolon valumuotti jää osaksi lopullista rakennetta. Ankkuripulttiliitoksessa voi tapahtua teräksen murto pultin kohdalla, mutta yleisemmin liitoksessa tapahtuu yhdistetty betonin kartiomurto ja ulosvetomurto [4]. Suunnitteluohjeessa on määritelty samantapainen murtotapa, mutta sen soveltaminen muottiputkelliseen ankkurointiin on epävarmaa.

Alalla on siten tarve laskennalliselle ohjeelle tai ankkurointiratkaisulle, jonka avulla voidaan suunnitella varauskoloankkurointeja suomalaisiin ja kansainvälisiin projekteihin. Ratkaisun täytyisi kattaa yleisimmät käytössä olevat pulttikoot, erityisesti teollisuuskohteissa käytetyt suuremmat koot, ja sen täytyy perustua voimassa oleviin määräyksiin, ohjeistuksiin ja viimeisimpään tutkimustietoon.

1.2 Tutkimuksen rajaus ja tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää millainen varauskololiitos sopii kansainvälisiin projekteihin teollisuuskohteissa. Ensimmäiseksi tarkoituksena on selvittää varauskolollisen ankkuroinnin käyttäytyminen todellisuudessa viimeisimpään tutkimustietoon perustuen. Sen jälkeen saatuja tietoja verrataan olemassa oleviin mitoitusmenetelmiin. Näiden perusteella kehitetään mahdollisimman yksinkertaisia ankkurointiratkaisuja, joita voidaan soveltaa kansainvälisesti. Työssä huomioidaan myös liitoksen vaikutus ankkuroinnin kestävyYTEEN, ja miten sitä voidaan kasvattaa suunnittelussa tehtävillä valinnoilla. Näitä ovat muun muassa ankkurointia ympäröivä raudoitus, varauskolon

toteutus sekä jälkivalumassaan kohdistuvat vaatimukset. Tavoitteena on myös määrittää lopullinen syvyys varauskololle.

Suosittelujen ankkurointiratkaisujen lisäksi tämän työn tavoitteena on luoda suunnitteluohje betonirakenteisiin varauskololla tehtävistä ankkuroinneista. Suunnitteluohje pohjautuu luonnollisesti tutkimuksessa selvitettyyn kirjallisuuteen sekä muihin työn aikana tehtyihin oletuksiin.

Ankkuripulttia voi rasittaa vetovoima, leikkausvoima, taivutusmomentti tai erilaisia yhdistelmiä edellä mainituista. Jotta tutkimus pysyisi aikataulussa ja diplomityölle sopivassa laajuudessa, on tutkimus rajattu koskemaan ainoastaan ankkurointeja, joita rasittaa vetovoima. Lisäksi tutkittavat ankkurointitapaukset on rajattu koskemaan tyypillisimpiä Suomessa käytössä olevia tapauksia. Näissä varauskoloon asennettava pultti ankkuroidaan varauskoloon mutterilla, tyssäkannalla tai ankkurointilevyllä. Ankkurointi tapahtuu pultin tangon täydelle kestävyydelle. Liitoksessa käytettävä jälkivalumassa on sementtipohjainen. Siten tutkimuksen ulkopuolelle jäävät kemialliset ankkurit sekä jälkikiinnitettävät ankkurit, jotka eivät vaadi varauskoloa ankkurointiin, kuten suoraan kovettuneeseen betoniin iskettävät ankkurit.

1.3 Tutkimuksen suoritus ja raportin rakenne

Tutkimus suoritetaan kirjallisuusanalyysinä ja analyysiin perustuvina laskelmina. Työssä kerätään yhteen viimeisintä tutkimustietoa ja olemassa olevia suunnitteluohjeita sekä -määräyksiä, joiden perusteella johdetaan tarvittavat matemaattiset kaavat ankkurointiliitoksen laskemista varten. Myös laskentakaavojen rajoitukset selvitetään. Laskennallisia tuloksia arvioidaan saatujen kestävyysien perusteella. Tulosten analysointia ohjaa tavoite ankkuroinnin sitkeästä murtotavasta.

Kirjallisuudesta saatujen tietojen perusteella luodaan edellisessä luvussa 1.2 mainittu suunnitteluohje. Suunnitteluohjeen tarkoitus on tiivistää olemassa oleva tieto selkeästi ja yksiselitteisesti yhteen paikkaan, jotta sitä on helpompi käyttää varauskolollisen ankkuroinnin suunnittelussa. Laskentatuloksista tehdään työn loppuun yhteenveto, joka kattaa ankkurointiratkaisun tärkeimmät ominaisuudet, kuten jälkivalun lujuuden, betoniluokat, varauskolojen korkeuden ja raudoituksen.

Tutkimuksen raportti muodostuu yhteensä seitsemästä luvusta. Ensimmäisessä luvussa tuodaan esille tutkimuksen tausta ja tavoitteet. Lisäksi siinä käsitellään tutkimuksen aihetta koskevat rajaukset sekä kerrotaan hieman tutkimuksen suorituksesta ja menetelmistä. Toisessa luvussa käsitellään varauskolollisen ankkuroinnin käyttötarkoituksia sekä eri komponentteja, jotta saadaan luotua yleiskatsaus työn aihepiiriin. Kolmannessa luvussa selvitetään, miten varauskolollinen ankkurointi käyttäytyy aikaisempien tutkimusten perusteella. Luvussa käydään läpi eri tutkijoiden ehdottamia tapoja ankkuroinnin mitoittamiseksi. Neljäs luku käsittelee voimassa olevia standardeja ja hyväksyntöjä,

joiden avulla betoniin tehtäviä ankkurointeja voidaan mitoittaa. Luku koostuu eurokoodin ja Yhdysvalloissa yleisesti käytössä olevan ACI-standardin antamista mitoitusohjeistuksista. Lisäksi luvussa käsitellään Suomessa voimassa olevia kansallisia standardeja sekä tuotekohtaisia hyväksyntöjä. Viides luku käsittelee työn tuloksia. Luvussa raportoidaan tehdyt laskelmat, joiden perusteella on selvitty parhaimmat mahdolliset mitoitusmenetelmät ankkuroinnin laskemiseen. Tämän lisäksi luvussa tutkitaan liitoksen eri osien vaikutusta kestävyYTEEN. Näiden perusteella määritetään varauskolon mitat eri tilanteissa. Kuudennessa luvussa kootaan yhteen edellisessä luvussa saadut tulokset. Suunnitteluohje perustuu edellisessä luvussa tehtyihin mitoitusmenetelmiin, ja ankkurointiratkaisut näillä laskettuihin tuloksiin. Lopuksi seitsemännessä luvussa tehdään yhteenveto koko tutkimuksesta.

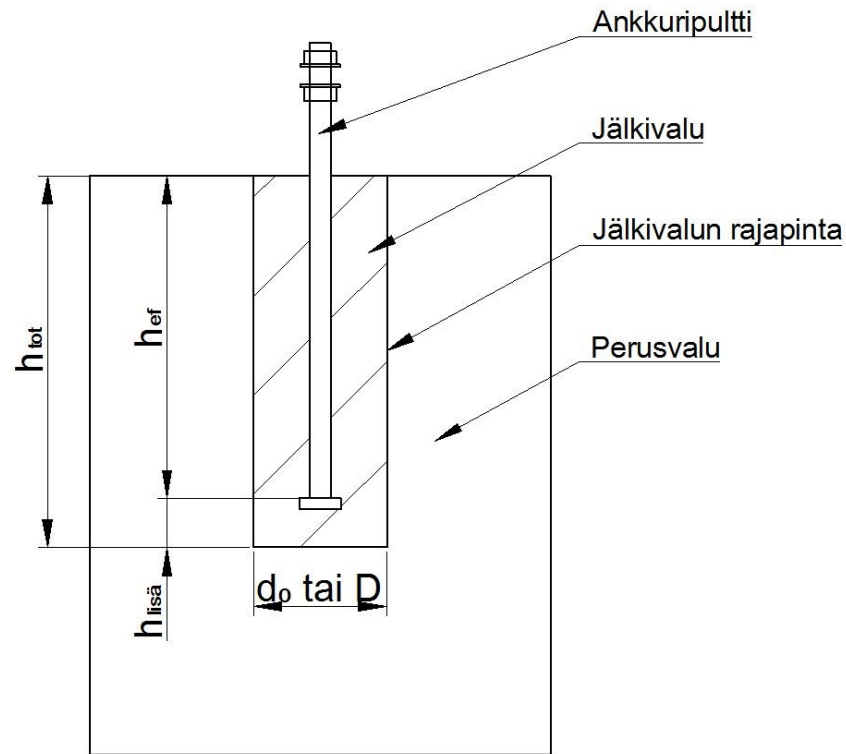
2. VARAUSKOLOJEN KÄYTTÖ ANKKUROIMI- SEEN RAKENTAMISESSA

2.1 Yleistä

Kuten kaikkien ankkurien, myös varauskolollisen ankkuroinnin tarkoituksena on siirtää kuormituksia turvallisesti kahden rakenteen välillä [5]. Koska varauskolon käyttö suunnittelussa sallii työmaalla tapahtuvan asennuksen vaiheistuksen, sitä käytetään erityisesti laajoissa teollisuusrakentamisen kohteissa, joissa asennettavien pulttien määrä voi olla huomattavan suuri. Lisäksi varauskolojen käyttö mahdollistaa pienemmät asennustoleranssit pulteille, kun niitä ei tarvitse kiinnittää raudoitukseen ennen valua.

Alla olevassa kuvassa 3 on esitetty tyypillinen varauskolollisen ankkuroinnin rakenne. Tyypillisesti varauskolollinen ankkurointi koostuu kolmesta pääkomponentista, jotka välittävät liitokseen kohdistuvat kuormat alapuoliseen betonirakenteeseen. Ennen valua betonirakenteeseen asennetaan valumuotti, jonka tehtävänä on estää tuoreen betonin pääsy alueelle, johon ankkuri aiotaan kiinnittää. Betonin kovettumisen jälkeen ankkuri asennetaan koloon. Lopuksi kolo täytetään jälkivalumassalla, joka sitoo ankkurin kolon reunoille ja varmistaa kuormituksen siirtymisen ankkurista betoniin asti. Varauskolon on mahdollista toteuttaa myös poraamalla, jolloin valumuottia ei tarvitse asentaa ollenkaan.

Kuvassa 3 on myös esitetty varauskolon mittoja. Tehollista korkeutta kuvataan muuttujalla h_{ef} , d_0 kuvaa varauskolon halkaisijaa ja D muottiputken halkaisijaa, kun sitä käytetään varauskolon tekemiseen. Näitä mittoja käytetään läpi työn sekä teoriaosuudessa että laskennassa. Lisäksi kuvassa on esitetty varauskolon lisäkorkeus $h_{lisä}$, jonka avulla saadaan määritettyä kolon lopullinen korkeus h_{tot} .



Kuva 3. Varauskolollisen ankkurointiliitoksen rakenne

Betonirakenteiden ankkuroinnit voidaan jakaa paikalla valettaviin ja jälkikiinnitettäviin rakenteisiin [4, s. 1, 6]. Paikalla valettavat ankkurit kiinnitetään betonirakenteen raudoituksiin, joten kaikkien ankkureiden on oltava paikoillaan ennen rakenteen valua. Jälkikiinnitettävät ankkurit asennetaan kovettuneeseen betoniin [4]. Asennus voidaan tehdä esimerkiksi iskemällä ankkuri suoraan betoniin. [7, s. 12, 9, kohta 17.1.2]. Varauskolollinen ankkurointi ei sovi täydellisesti kumpaakaan kategoriaan. Koska ankkuri asennetaan koloon vasta betonin kovettumisen jälkeen, voisi tämän perusteella ankkurointityypin luokitella jälkikiinnikkeeksi. Toisaalta liitos tarvitsee valumuotin varauskoloon tekemiseen, joten se on myös paikalla valettava kiinnike. Aikaisemmassa tutkimuksessa [4, s. 1] varauskolollinen on jälkimmäisestä syystä luokiteltu paikallavalurakenteisiin. Tässä työssä ei oteta kantaa liitoksen tyyppiin, ellei se vaikuta oleellisesti laskelmien paikkaansa pitävyyteen. Kun varauskolo valmistetaan poraamalla, on jako selkeämpi: poraus ja asennus tehdään kovettuneeseen betoniin, joten kyseessä on jälkikiinnitettävä rakenne.

2.2 Varauskolotyyppit

Varauskoloja voidaan luokitella niiden ominaisuuksien perusteella. Käyttökelpoisia kategorioita ovat valumuotin tyyppi, varauskolo muoto, käytettävä kiinnike ja jälkivalunmassan tyyppi.

2.2.1 Valumuotti

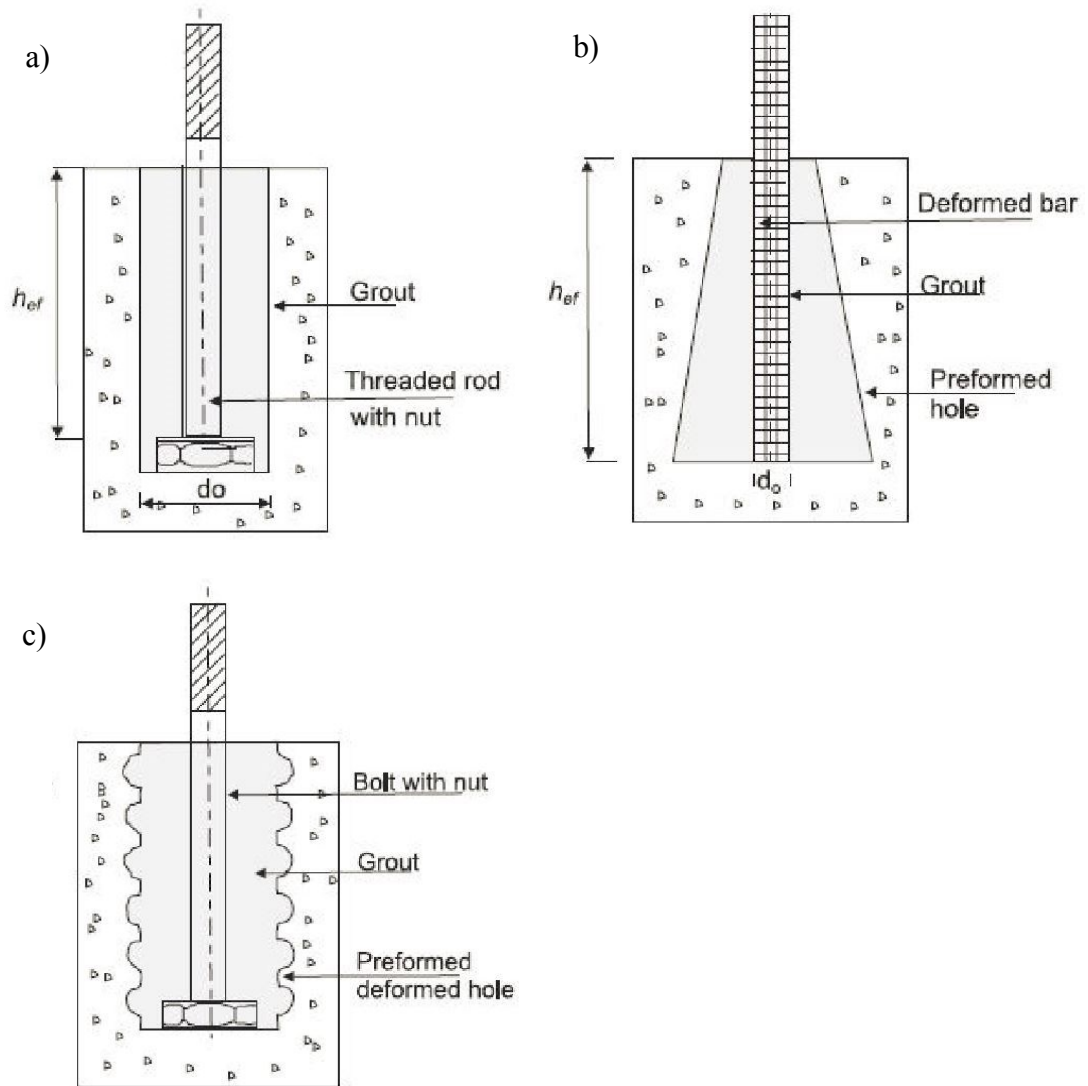
Varauskoloja voidaan valmistaa usealla eri tavalla. Varauskolo voidaan porata timantti-poralla tai se voidaan valmistaa valumuotin avulla, jonka tehtävänä on estää tuoreen betonin pääsy tyhjäksi tarkoitettuun koloon.

Valumuotin perusteella varauskolotyypit voidaan jakaa kahteen kategoriaan. Ensimmäisessä kategoriassa kolon luomiseen käytettävä muotti poistetaan ennen kiinnikkeen asennusta ja toisessa kategoriassa muotti kuuluu oleellisena osana lopulliseen rakentamiseen. [1, 9, 10] Tässä työssä käsitellään molempia muotittamistapoja sekä poraamalla tehtyjä varauskoloja.

Valumuotteja varauskoloihin valmistetaan yleisimmin metallista, puusta ja polystyreenistä. Poistettava valumuotti voidaan valmistaa esimerkiksi vanerista tai muusta puumateriaalista. Yhdysvalloissa ja Isossa-Britanniassa on käytössä polystyreenistä valmistettuja EPS-muotteja [11, 12]. Myös Suomessa on käytetty samaa materiaalia [13, s. 30]. Valuun jäävät muotit ovat yleisesti valmistettu teräksestä materiaalin kestävyys- ja riittävän samankaltaisten ominaisuuksien takia. Riittävän tartunnan varmistamiseksi nämä valumuotit ovat usein kuvioituja [1, 2, 10].

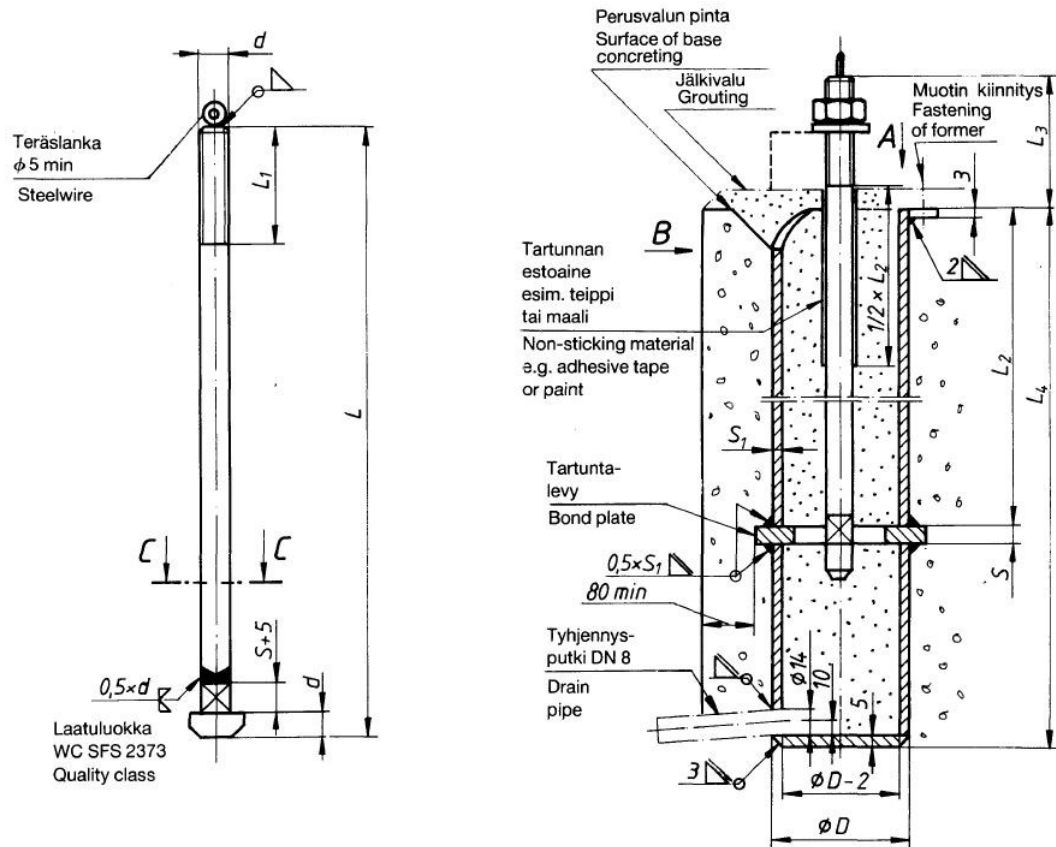
Myös muotin muoto ja halkaisija voivat vaihdella. Periaatteessa muodolla ei ole rajoituksia, mutta tavallisesti poikkileikkauksen muoto on ympyrä tai suorakaide [5, 9].

Alla olevassa kuvassa 4 [4, s. 2] esitetään neljä erilaista varauskolon muotoa. Muodossa a) säilyy kolon poikkileikkaus vakiona. Se vastaa tämän työn tapauksia, jossa valumuotti ei jää osaksi lopullista rakennetta tai poraamalla tehtyä varauskoloa. Kolo b) on kartiomainen, jossa kolon poikkipinta-ala kasvaa syvemmälle betoniin siirryttäessä. Muoto c) vastaa kolmatta tässä työssä käsiteltävää tapausta: muotti jää osaksi lopullista rakennetta, ja varauskolon poikkipinta-ala pysyy vakiona kolon koko matkalla reunojen ollessa poimutetut. Muoto c) voidaan myös tehdä poistettavalla muotilla.

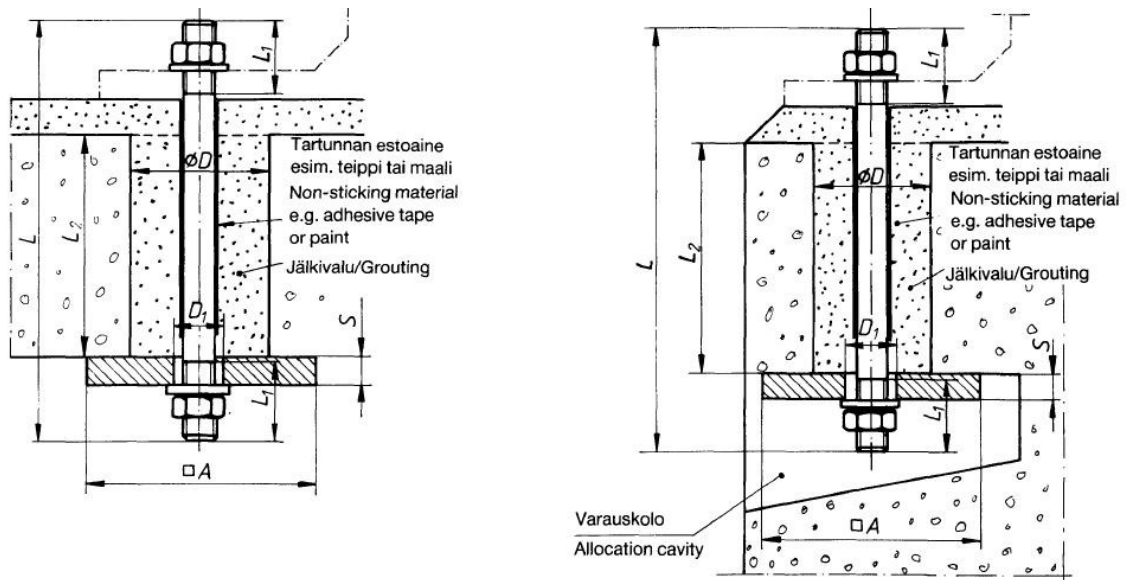


Kuva 4. Varaukolon mahdollisia muotoja [5, muokattu]

Suomessa yleisesti käytössä oleva Spiralo-muottiputki on poikkileikkaukseltaan ympyrä, ja myös saksalainen Robusta-Gaukel valmistaa samantapaisia muotteja [1, 10]. Robusta-Gaukel valmistaa myös poikkileikkaukseltaan suorakaiteen ja neliön muotoisia varaukolomuotteja osana ankkurointijärjestelmäänsä. Nämä tuotteet vastaavat kuvan 4 c-kohdan muotoa.



Kuva 5. Standardin SFS 4633 [14] mukainen B-tyyppin perustusruuviankkurointi



Kuva 6. Standardin SFS 4634 [15] mukaiset asennustavat C-tyyppin perustusruuvile

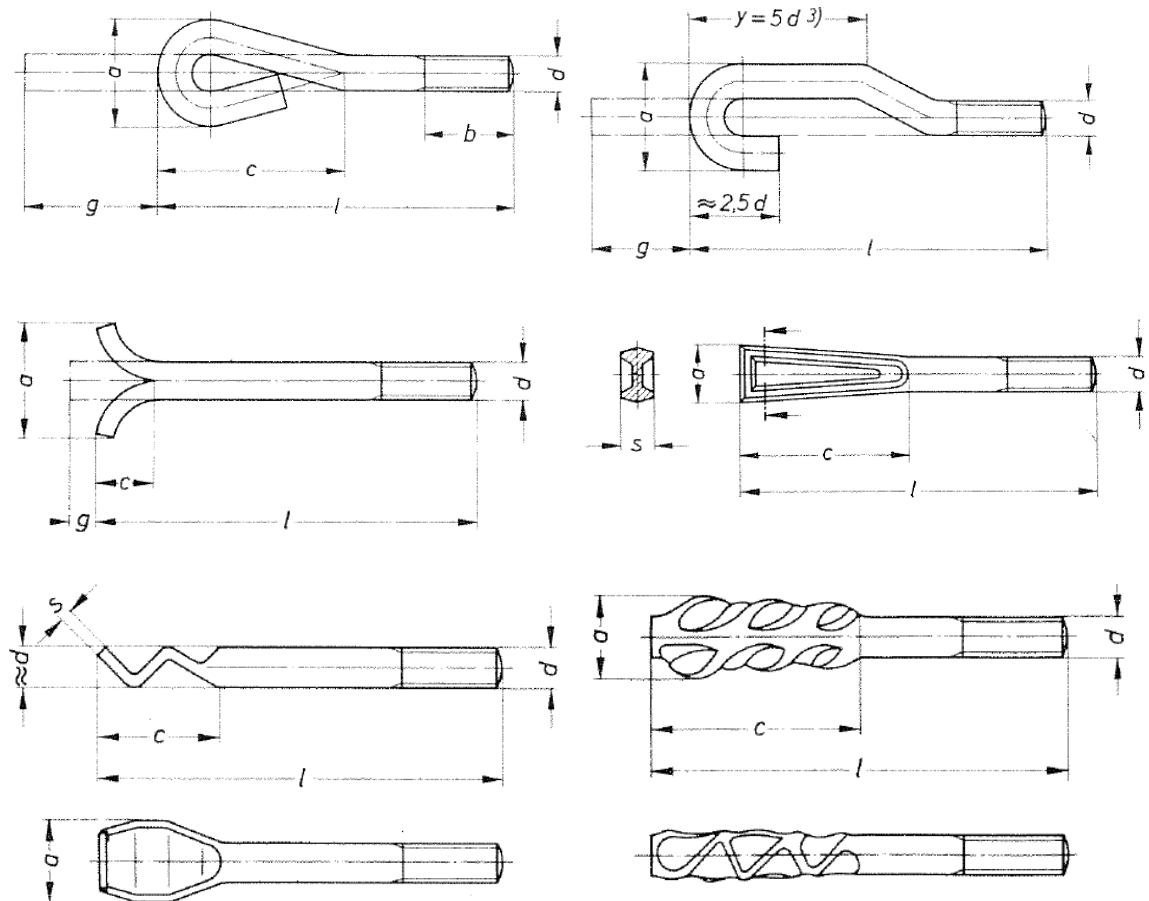
Lisäksi Suomessa on myös perinteisesti käytetty kuvien 5 [14] ja 6 [15] mukaisia varaukolollisia ankkurointeja, tyyppiä B ja C. Näissä muotti on sileä ja poikkileikkaukseltaan ympyrä, mutta ankkuroitumismekanismi poikkeaa tässä työssä käsiteltävästä

versiosta. B-typissä kiinnike ankkuroidaan jälkivalun lisäksi valumuottiin tartuntalevyn avulla, ja C-typin kohdalla kiinnike ankkuroituu perusvaluun.

2.2.2 Käytettävä kiinnike

Varauskoloon asennettavalle ankkurille on useita vaihtoehtoja. Käytännössä ankkuri voi olla tyssäkantainen suoravartinen pultti, erikoispäinen ankkuripultti tai harjateräs.

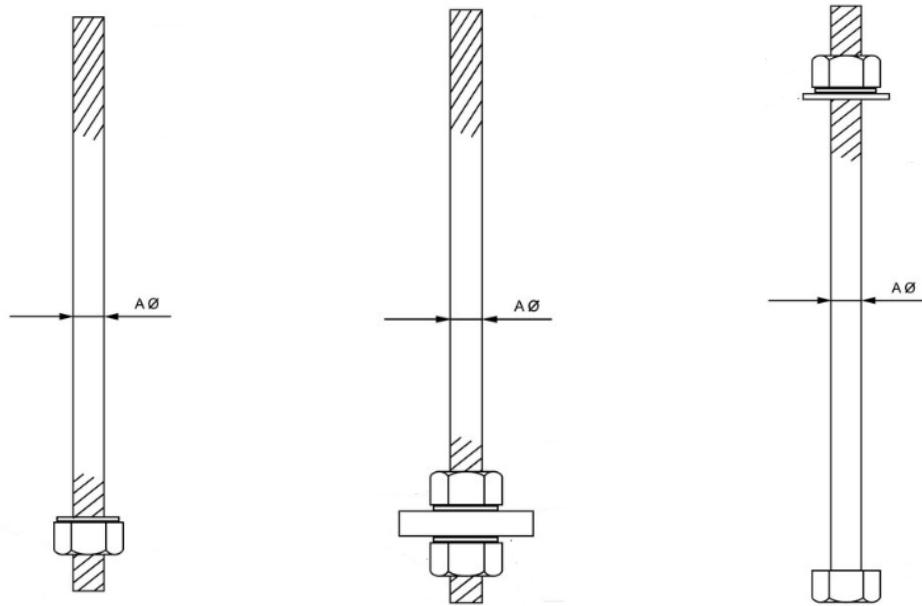
Erikoispäisiä ankkuripultteja on esitelty muun muassa saksalaisessa standardissa *DIN-529: Betoniin valettu ankkuripultti* [16]. Pultin pää varmistaa ankkurin tarttumisen betonivaluun, ja se on mahdollista toteuttaa monella tavalla. Standardin mukaisia pultteja on esitetty alla olevassa kuvassa 7. Pulttien kestävyys voi olla kyseenalainen, koska käytettävää pyörötankoista terästä joudutaan muokkaamaan jälkikäteen eri taivutussäteiden ja muotojen aikaansaamiseksi. Jos pultin muoto valmistetaan kuumamuokkaamalla, korkealujuuksisen teräksen kestävyys putoaa huomattavasti [17].



Kuva 7. Standardin DIN-529 [16] mukaisia ankkuripultteja

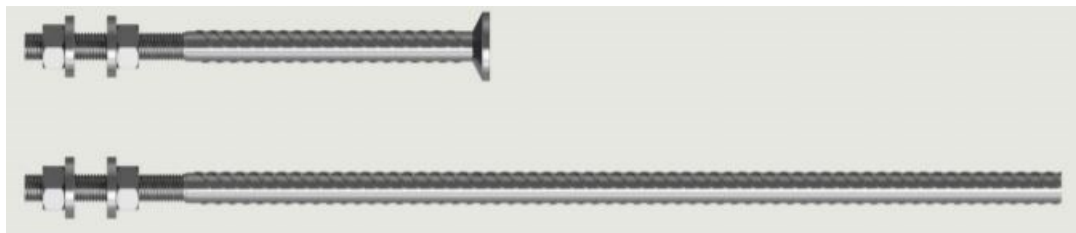
Tässä työssä käytetään tyssäkantaista ankkuria, jonka kanta voidaan valmistaa suoraan tehtaalla tai asentamalla kiinnikkeen päähän ankkurilevy tai -mutteri. Ankkuria käytetään, koska sen tapaiset kiinnikkeet on määritelty voimassa olevissa normeissa [3, 8]. Lisäksi halutaan varmistaa, että ankkurille tulevat voimat siirtyvät vain tyssäkannan

kautta, joten kiinnikkeen varsi eristetään jälkivalumassasta. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi teippaamalla kiinnikkeen varsi tai asentamalla suojaputki varren ympärille ennen jälkivalun valamista [1, 4]. Näin varmistetaan, ettei jälkivalussa tapahdu kestävyyskannalta haitallista murtumista, kun varren ja valun välille ei synny tartuntaa. Tartunnan estämiseksi voidaan käyttää myös ankkuria, jonka varsi on jo valmistusvaiheessa sileä. Alla olevassa kuvassa 8 on esitetty esimerkkejä tyssäkantaisista ankkuripulteista.



Kuva 8. Tyssäkantaisia ankkuripultteja [18, muokattu]. Kannan malli vasemmalta oikealle: ankkurimutteri, ankkurilevy ja tehtaalla valmistettu tyssäkanta.

Näiden lisäksi ankkurina voi toimia harjaterästanko. Tällöin harjateräksen toiseen päähän valmistetaan kiertetut mutterit varten, jotta asennus on mahdollinen. Tangon vastakkaiseen päähän voidaan myös valmistaa tyssäkanta sen pituuden lyhentämiseksi.



Kuva 9. Harjaterästangolliset ankkuripultit [19, s. 4]

Kuvassa 9 on esitetty harjaterästangollinen ankkuri tyssäkannan kanssa ja ilman sitä. Suomessa esimerkiksi Peikko Group [20] ja Anstar [21] valmistavat tällaisia ankkureita.

2.2.3 Jälkivalumassa

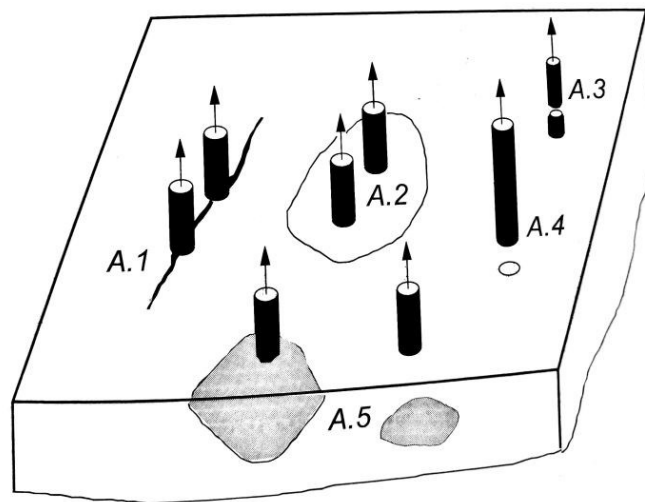
Ankkurin asentamisen jälkeen varauskolo täytetään jälkivalumassalla. Vaihtoehtoja massalle on useita, ja yleisimmät käytössä olevat massat ovat joko polymeeri- tai sementtipohjaisia [4, s. 2, 22]. Sementtipohjaisena massa voidaan käyttää rakennebetonia tai erikseen jälkivaluihin tarkoitettuja tuotteita.

Polymeeri- ja hartsipohjaisilla jälkivalumassoilla on sementtipohjaisia massoja heikompi kestävyys pitkäaikaikuormitusten vaikuttaessa kiinnikkeeseen [23, 24, 25, 26]. Myös korkeat lämpötilat heikentävät niiden kestävyyttä. Lahouar *et al.* [27] ja Reis [28] toteavat, että hartsimassojen kestävyys putoavat huomattavasti lämpötilan noustessa yli 50 °C:een. Reis [28] raportoi kestävyys putoavan jopa 50 %:ia verrattuna huoneenlämpöiseen massa. Sementtipohjaiset jälkivalumassat sopivat siten paremmin korkeisiin lämpötiloihin, joita teollisuusrakentamisessakin esiintyy.

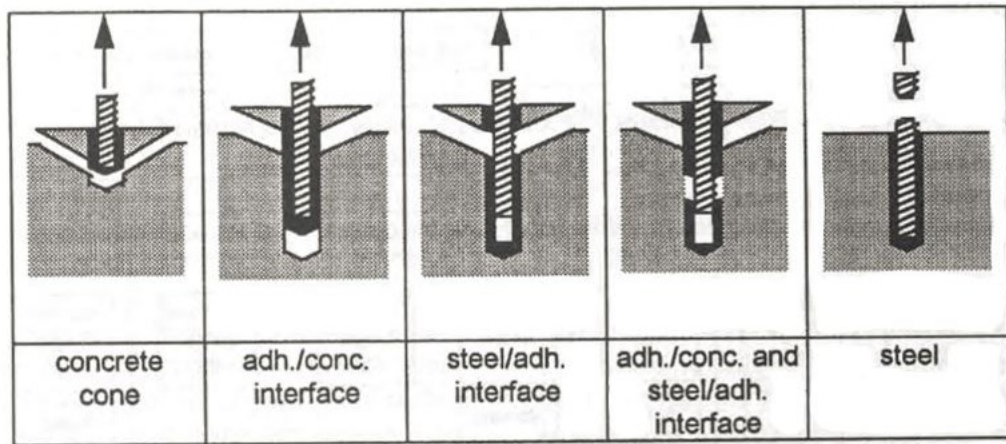
Sementtipohjaisten (kuten myös hartsipohjaisten) jälkivalumassojen on täytettävä Euroopassa standardin *EN 1504-6 Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Määritelmät, vaatimukset, laadunvalvonta ja vaatimuksenmukaisuuden arviointi. Osa 6: Betoniterästen ankkurointi* [22] mukaiset vaatimukset. Vaatimuksia asetetaan muun muassa ulosvedossa tapahtuvalle ankkurin siirtymälle, kloridi-ionipitoisuudelle sekä polymeerimassojen tapauksessa lisäksi lasittumislämpötilalle ja viruman suuruudelle vetokuormituksessa. Jälkivalumassana voidaan käyttää myös tuotteita, jotka täyttävät standardin *EN 1504-3 Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Määritelmät, vaatimukset, laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden arviointi. Osa 3: Rakenteellinen ja ei-rakenteellinen korjaus* [29] vaatimukset. Standardissa määritellään tuotteelle muun muassa vaatimukset, jonka mukaan tuote voidaan tunnistaa sekä tavat, jolla tuotteet ominaisuuksia voidaan määritellä.

3. VARAUSKOLOLLISEN ANKKUROINNIN KÄYTTÄYTYMINEN

Vedossa olevalla ankkurilla on olevassa useita murtotapoja. [30, s. 495] Näihin vaikuttavat ankkurin tehollinen korkeus (eli upotussyvyys) sekä sijainti perusvalussa. Murtotavat on esitetty kuvassa 10, ja ne liittyvät paikalla valettuihin ankkureihin [7, s. 65–102 ja 143–157, 31, s. 203]. Ankkurin tunnettuja murtotapoja ovat betonin halkeamismurto (A.1, engl. splitting failure), betonin kartiomurto (A.2, engl. concrete cone failure), teräsmurto (A.3, engl. steel failure), ankkurin ulosvetomurto (A.4, engl. pull-out failure) ja reunan lohkeamismurto (A.5, engl. blow-out failure).



Kuva 10. Ankkurin murtotavat by 210:n [30] mukaisesti



Kuva 11. Vedossa olevan tartunta-ankkurin murtotavat lähteen [32] mukaisesti

Tartunta-ankkureille (engl. bonded anchors) tunnetaan erilliset murtotavat, jotka on esitetty kuvassa 11 (yllä). Kartiomurron lisäksi tartunta-ankkurin murtotapoja ovat jälkivalun ja perusvalun välinen murto (engl. failure at adhesive/concrete interface), kiinnikkeen varren ja jälkivalun välinen murto (engl. failure at steel/adhesive interface), kahden edellisen murtotavan yhdistetty murto ja ankkurin teräsmurto [32].

3.1.1 Jälkivaletun ankkurin murtotavat

Varaskoloon asennettavassa ankkurissa yhdistyy valuun suoraan asennettavan ankkurin ja tartunta-ankkurin murtotavat. Tartunta-ankkurien murtotavoista voidaan jättää osa pois. Koska käytettävän ankkurin varren ja jälkivalun välillä ei ole tartuntaa, voidaan jättää pois varren ja jälkivalun rajapintaan liittyvät murtotavat. Siten jälkivaletun pultin (engl. grouted anchor) murtotavoiksi jää jälkivalun ja betonin välinen murto sekä betonin kartiomurto, kun tarkastellaan tartunta-ankkurin murtotapoja [5, 33, s. 2366]. Käytännössä jälkivalun ja betonin välinen murto tarkoittaa tartunnan pettämistä jälkivalun ja betonin välillä sekä murtokartion muodostumista lähempänä perusvalun pintaa [4, s. 2–3]. Muodostuva kartio on korkeudeltaan pienempi kuin pelkässä kartiomurrossa syntyvä, sillä tartunnan pettäminen lyhentää ankkurin pituutta, jonka matkalla kartio voi syntyä. Tästä murtotavasta käytetään tässä työssä nimitystä yhdistetty kartio- ja ulosveto-murto.

Paikalla valetun ankkurin murtotavat eivät vähene, kun tarkastellaan jälkivalettua ankkuria. Samoin teräsmurto kuuluu ankkurin murtotapoihin, mutta sen yksityiskohtainen tarkastelu jätetään tämän työn ulkopuolelle.

3.1.2 Zamora *et al.*

Zamora *et al.* [5] tutkivat kokeellisesti tyssäkantaisia jälkivalettuja ankkureita, ja kehittivät mitoitusmenetelmän, joka ottaa huomioon sekä paikalla valettavien ja tartunta-

ankkurien murtotapoja. Mitoitusmenetelmä perustuu betonin kapasiteettimenetelmään (engl. Concrete Capacity Method), CC-menetelmään, jota käytetään erityisesti tyssäkan- taisten paikalla valettujen ankkurien mitoittamiseen. Koska kiinnikkeessä voi tapahtua myös betonin ja jälkivalun välinen tartuntamurto, Zamora *et al.* käyttivät lisäksi vakio- suuruisen tartuntajännityksen mallia mitoitusavan määrittämiseen.

Murtotapoja vastaavat ominaiskestävyydet on esitetty seuraavissa kaavoissa. Ominais- kestävyys kartiomurrolle saadaan kaavasta

$$N_{Rk,c} = 12,6\sqrt{f_{ck}}h_{ef}^{1,5}, \quad (3.1)$$

missä f_{ck} on betonin lieriöpuristuslujuuden ominaisarvo ja h_{ef} on kiinnikkeen tehollinen korkeus. Käytännössä tämä on etäisyys perustabetonin pinnasta kiinnikkeen tyssä- kannan alkuun. Zamora *et al.* lisäävät, että kerroin 12,6 on jo muutettu vastaamaan 5 % fraktaalien vähennystä, joka kompensoi materiaalien epätasaista laatua [8, luku 2.3, 34, 35, 36].

Yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron ominaiskestävyys yhdelle kiinnikkeelle saadaan kaavalla

$$N_{Rk,p}^0 = \tau'_0 \pi d_0 h_{ef}, \quad (3.2)$$

jossa τ'_0 on betonin ja jälkivalun rajapinnan nimellinen tartuntalujuus ja d_0 on varausko- lon halkaisija. Kaava olettaa kolon olevan porattu reikä, joten käytännössä tartuntamur- ron kestävyys lasketaan kertomalla nimellinen tartuntalujuus kolon sivujen pinta-alan kanssa.

Mitoitusmenetelmässä ankkurin kestävyudeksi valitaan pienempi edellä esitettyjen kaa- vojen arvoista, kunhan ominaisarvot on kerrottu varmuustekijällä, joka pienentää kestä- vyyksiä. Tätä menetelmää käyttäessä täytyy kuitenkin huomioida, että kaavat soveltuvat vain keskellä perusvalua asennettuihin kiinnikkeisiin. Ne eivät siis ota huomioon valun reunojen vaikutusta kestävyYTEEN. Myöskään halkeilua ei ole näissä kaavoissa huomioi- tu.

3.1.3 Subramanian ja Cook

Subramanian ja Cook [4] ovat päätyneet samaan menetelmään Zamoran *et al.* kanssa jälkivaletun ankkurin kestävyYDEN laskemiseksi. Yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron ominaiskestävyys lasketaan kaavalla (3.2). Poikkeuksena on kartiomurron kaavassa oleva kerroin, joka kasvaa arvosta 12,6 arvoon 15,5. Siten vaihtoehtoinen kartiomurron ominaiskestävyys saadaan kaavalla

$$N_{Rk,c} = 15,5\sqrt{f_{ck}}h_{ef}^{1,5}. \quad (3.3)$$

Koska Zamoran *et al.* kerroin 12,6 ottaa huomioon 5 % fraktaalien ja on lisäksi arvoltaan muutenkin pienempi, voidaan todeta kaavan (3.1) olevan varmemmalla puolella, kun lasketaan kiinnikkeen kartiomurron kestävyyttä.

3.1.4 Miltenberger

Miltenberger [36] on selvittänyt tarvittavat tarkistukset myös lopuille murtotavoille. Ohjeessa on käyty läpi teräsmurto, kartiomurto, kiinnikkeen ja jälkivalun tartuntamurto, yhdistetty kartio- ja ulosvetomurto, reunan lohkeilumurto, halkeamismurto ja myös ankkurin ulosvetomurto. Edellisten tutkimusten tavoin Miltenbergerin esittämät mitoitustavat perustuvat CC-menetelmän ja yhtenäisen tartuntajännityksen mallin yhdistämiseen.

Ankkurityyppiin ja työn rajauksiin perustuen voidaan tästäkin listasta jättää pois sekä teräsmurron tarkastelu että kiinnikkeen ja jälkivalun tartuntamurto. Tässäkin mitoitustavassa ankkuroinnin kestävyudeksi valitaan saaduista arvoista pienin.

Halkeamismurto voidaan estää varmistamalla reunaetäisyyksien, jakovälin ja perusvalun paksuuden täyttävän minimivaatimukset. Reunaetäisyyksien minimiarvo tyssäkan-
taisille ankkureille on $6d_0$, minimijakoväli taas on $3h_{ef}$ ja perusvalun paksuudelle minimiarvo on $h_{ef} + 100$ tai $\frac{3}{2}h_{ef}$.

Yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron kohdalla kestävyuden laskenta noudattaa samaa laskentakaavaa (3.2) kuin Zamora *et al.* Ominaiskestävyyttä on vain tämän lisäksi kerrottu lisäkertoimilla, jotka ottavat huomioon ryhmävaikutuksen, reunavaikutuksen ja betonin halkeilun vaikutuksen. Yhdistetyn murron ominaiskestävyys saadaan siten kaavalla

$$N_{Rk,pc} = \Psi_{Ng} \Psi_{Ne} \Psi_{Ncr} N_{Rk,p}^0, \quad (3.4)$$

jossa Ψ_{Ng} on ryhmävaikutuksen huomioon ottava kerroin, Ψ_{Ne} on perusvalun reunojen vaikutuksen huomioiva kerroin ja Ψ_{Ncr} on betonin halkeilun huomioiva kerroin.

Ryhmävaikutuksen huomioiva kerroin saadaan kaavasta

$$\Psi_{Ng} = \frac{A_N}{nA_{N0}} \leq 1,0, \quad (3.5)$$

jossa A_N on kiinnikeryhmän vaikutusala, n on kiinnikkeiden määrä ryhmässä ja A_{N0} on yhden kiinnikkeen vaikutusala. Yksittäisen kiinnikkeen kohdalla kerroin saa arvon yksi, joten sen tarkempaa laskentaa ei käydä läpi.

Reunavaikutuksen huomioiva kerroin saadaan kaavasta

$$\Psi_{Ne} = 0,7 + 0,3 \frac{c_e}{c_{cr}} \leq 1, \quad (3.6)$$

missä c_e on lyhin liitoksen reunaetäisyys ja c_{cr} on kriittinen reunaetäisyys. Miltenberger määrittelee kriittiseksi etäisyydeksi tyssäkantaisille kiinnikkeille arvon $1,5h_{ef}$. Ohjeessa ei kuitenkaan määritellä arvoja tai laskentakaavaa halkeilun huomioivalle kertoimelle Ψ_{Ncr} , vaan ohje on tehty koskemaan halkeamattomassa betonissa sijaitsevia kiinnikkeitä. Miltenberger suosittelee välttämään jälkivalettujen ankkureiden käyttöä kriittisissä paikoissa, joissa halkeilu on todennäköistä. Tätä tukee Eligehausenin ja Baloghin tutkimus [37], jossa todetaan halkeamassa olevan kiinnikkeen kestävyysvoiman pienentyä kolmasosaan alkuperäisestä.

Miltenberger esittää nimellisen tartuntalujuuden τ'_0 laskennalle kaavan, joka myös vastaa tämänhetkistä käytäntöä eurooppalaisissa ja yhdysvaltalaisissa standardeissa. Nimellinen tartuntalujuus saadaan kaavasta

$$\tau'_0 = \tau_0(1 - K \cdot COV), \quad (3.7)$$

missä τ_0 on testaustuloksista laskettu tartuntalujuuden keskiarvo, K on testien määrään liittyvä kerroin (ks. taulukko 1) ja COV on varianssi. Taulukossa 1 on esitetty Miltenbergerin ilmoittamat arvot kertoimelle K .

Taulukko 1. Nimellistä tartuntalujutta laskettaessa käytettävän kertoimen K arvoja eri testimäärillä [36]

Testien lkm	K
3	5,311
4	3,957
5	3,400
6	3,092
10	2,568
15	2,329
20	2,208

Betonin kartiomurrolle Miltenberger määrittää kaksi kaavaa riippuen tehollisesta korkeudesta. Tehollisille korkeuksille, jotka jäävät alle 280 mm:iin, saadaan kartiomurron ominaiskestävyys kaavalla

$$N_{Rk,c} = \Psi_{Ng} \Psi_{Ne} \Psi_{Ncr} 12,5 \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1,5} \quad (3.8)$$

ja tehollisen korkeuden ollessa välillä 280...635 mm, kartiomurron ominaiskestävyys saadaan kaavalla

$$N_{Rk,c} = \Psi_{Ng} \Psi_{Ne} \Psi_{Ncr} 4,75 \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1,67}. \quad (3.9)$$

Lee *et al.* [38] tukee potenssikertoimen vaihtoa suurempaan suuremmilla ankkureilla, jotka luontevasti tarvitsevat pidemmän ankkurointipituuden.

Tyssäkannan ulosvetomurron ominaiskestävyys saadaan kaavasta

$$N_{Rk,p} = \Psi_{Ncr} 11 A_h f_{ck}, \quad (3.10)$$

jossa A_h on tyssäkannan voimaa välittävä pinta-ala. Paras vaihtoehto kestävyyskasvattamiseksi on siis monesti tämän pinta-alan kasvattaminen. Pinta-alalle on kuitenkin annettu rajoitus: alan halkaisija ei saa koskaan olla suurempi kuin kannan kaksinkertainen paksuus.

Lohkeamismurron ominaiskestävyys yhdelle ankkurille saadaan kaavalla

$$N_{Rk,cb} = 13,3 \sqrt{A_h} \sqrt{f_{ck}}. \quad (3.11)$$

Kaavaa tarvitsee käyttää vain tilanteessa, jossa pienin reunaetäisyys $c_e < 0,4 h_{ef}$.

3.1.5 Burtz

Burtz [35] jatkaa tutkijoiden Zamora *et al.* tekemää yksittäisen jälkivaletun ankkurin kestävyysmäärittästä. Hän ei myöskään huomioi muita mahdollisia murtotapoja ankkurille, vaan perustaa kestävyyskartiomurron sekä jälkivalun ja betonin väliseen tartunnan laskentaan. Käytetyt laskentakaavat ovat samat kuin Zamoran *et al.* [5] käyttämät, mutta laskennassa on huomioitu myös perusvalun reunan vaikutus. Edellisten tutkimusten tavoin ankkurin kestävyys on näistä kahdesta arvosta pienempi. Kartiomurtokestävyys ominaisarvo saadaan kaavalla

$$N_{Rk,c} = \Psi_{c,e} 12,6 \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1,5}, \quad (3.12)$$

jossa $\Psi_{c,e}$ on kartiomurron tapauksessa reunavaikutuksen huomioiva kerroin. Yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurtokestävyys ominaisarvo saadaan kaavalla

$$N_{Rk,pc} = \Psi_{\tau 0} \tau'_0 \pi d_0 h_{ef}, \quad (3.13)$$

jossa $\Psi_{\tau 0}$ on tämän murtotavan tapauksessa reunavaikutuksen huomioiva kerroin. Kerroin saadaan laskettua kaavasta

$$\Psi_{\tau 0} = 0,7 + 0,3 \frac{c_e}{5d_0}, \quad (3.14)$$

jossa $5d_0$ vastaa kriittistä reunaetäisyyttä. Kaavassa kriittinen reunaetäisyys poikkeaa aikaisemmin määritellystä, sillä Burtz määritteli sen uudelleen tekemiensä testien perusteella vastaamaan paremmin saatuja koetuloksia ja niitä vastaavaa testaustilannetta.

3.2 Jälkivalun ja valumuotin rajapinta

Edellisen luvun perusteella huomataan, että varauskolollisista ankkureista, joissa on käytetty poimutettua muottiputkea, ei ole tehty sellaisenaan tutkimusta. Sileisiin muottipintoihin ja porattuihin reikiin asennettuihin kiinnikkeisiin on kehitetty laskentakaavoja, mutta niissä jälkivalumassa ja betonirakenteen välinen pinta on korkeintaan karhennettu. Täten tarkemman tutkimuksen tekeminen aiheeseen liittyen olisi tarpeellista.

Kuitenkin tilannetta voidaan tutkia riittävällä tarkkuudella olettamalla muottiputken ja valujen toimivan työsauman lailla. Nämä muodostavat yhden työsauman, mutta valujen välissä on teräslevy. Jälkivaletussa ankkuroinnissa, jossa muottiputki poistetaan, työsauma on tyypillinen kahden eri aikaan valetun betonin välinen sauma.

Työsauman käyttäminen mitoituksessa johtaa käytännössä tartuntalujuuden t_{RK} uudelleen määrittelyyn. Tartuntalujuus määritellään yleisesti testitulosten perusteella (kuten Miltenbergerin kaavasta (3.7) voidaan nähdä), mikä johtaa tuotekohtaisiin arvoihin. Tässä työssä pyritään kuitenkin yleispätevimpiin kaavoihin, joita voitaisiin käyttää ilman testien tekemistä. Siksi tartuntalujuutta arvioidaan työsauman leikkauskestävyyden kautta.

Työsaumojä on perinteisesti laskettu leikkaus-kitkateorian (engl. shear-friction theory) avulla. [39, s. II.67] Sauman kestävyys saadaan laskemalla leikkauskestävyys, joka muodostuu kolmesta tekijästä: mekaanisen tartunnan aiheuttamasta koheesiosta, saumaan vaikuttavien puristusvoimien ja siirtymän aiheuttamasta kitkasta ja vaarnaantumisesta, joka johtuu sauman läpi menevien raudoitteiden muokkaantumisesta (engl. dowel action).

Randl [40] esittää Santosin [39, s. II.29-II.30] mukaan kaavan leikkauskestävyyden mitoitusarvon, joka huomioi kaikkien edellä mainittujen kolmen tekijän vaikutuksen. Leikkauskestävyyden mitoitusarvo saadaan kaavalla

$$v_{Rdi} = \frac{cf_{ck}^{1/3}}{\gamma_{coh}} + \mu \left(\rho k \frac{f_{yk,re}}{\gamma_{Ms,re}} + \sigma_n \right) + \alpha_d \rho \sqrt{\frac{f_{yk,re} f_{ck}}{\gamma_{Ms,re} \gamma_c}} \leq \beta v_d \frac{f_{ck}}{\gamma_c}, \quad (3.15)$$

jossa c koheesiokerroin, f_{ck} on heikomman betonin ominaispuristuslujuus, γ_{coh} on koheesion varmuuskerroin, μ on kitkakerroin, ρ on raudoitussuhde, k on kerroin, joka kuvastaa, miten tehokkaasti raudoitteelle siirtyy vetovoimia, $f_{yk,re}$ on raudoitteen ominaismyötölujuus, $\gamma_{Ms,re}$ on raudoitteen varmuuskerroin ja σ_n on ulkoisen kuorman aiheuttama normaalijännitys saumassa. Kerroin α_d kuvaa raudoitteen vaarnaantumisen vaikutuksia, γ_c on betonin osavarmuuskerroin ja kertoimet β ja v_d liittyvät muodostuvan puristussauvan kulmaan ja kestävyYTEEN.

Kun sauman läpi ei mene raudoitusta, sievenee kestävyYden kaava muotoon

$$v_{Rdi} = \frac{cf_{ck}^{1/3}}{\gamma_{coh}} + \mu\sigma_n \leq \beta v_d \frac{f_{ck}}{\gamma_c}. \quad (3.16)$$

Alla olevassa taulukossa 2 on lueteltu Santosin mukaan Randlin ehdottamat arvot kaavassa (3.16) esiintyville muuttujille. Kertoimien arvot riippuvat sauman pinnan laadusta, joka voi olla vesipiikattu, hiekalla puhdistettu tai sileä. Lisäksi Randl ehdottaa koheesion varmuuskertoimeksi arvoa 2,0, koska pinnan laatu vaikuttaa voimakkaasti syntyvään koheesioon.

Taulukko 2. Kertoimia leikkauskestävyyden lasketaan [39, s. II.30, muokattu]

Pinnan valmistelu		Korkeapaineinen vesipiikkaus	Hiekka-puhallus	Sileä
Pinnan karheus R (mm)		$\geq 3,0$	$\geq 0,5$	-
Koheesiokerroin c		0,4	0,0	0,0
Kitkakerroin μ	$f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$	0,8	0,7	0,5
	$f_{ck} \geq 35 \text{ MPa}$	1,0	0,7	0,5
β		0,4	0,3	0,2

Pinnan karheuden määrittäminen rajoittuu kuitenkin edellisessä taulukossa oleville pintakäsittelytavoille. Tämän takia Santos [39, s. VII13-VII15, 41] määrittelee menetelmän, jolla voidaan arvioida kitka- ja koheesiokertoimia tarkemmin. Kertoimien arvot perustuvat rajapinnan karheuden mittaamiseen 2D-karheusanalyysilaserilla (2D Laser Roughness Analyser, 2D-LRA). Pinnan mittauksista saadaan laskettua keskiarvoinen kolosyvyys (engl. mean valley depth), jonka avulla voidaan määritellä tarkemmat kertoimet pinnoille riippumatta pinnan käsittelymenetelmästä. Siten Santos määrittelee uudet leikkauskestävyyden kaavat, jotka perustuvat eurokoodin EN 1992-1-1 leikkauskestävyyden laskentakaavoihin. Kun saumaan kohdistuva leikkausvoima on pienempi kuin pelkästä koheesiosta saatava kestävyys, lasketaan leikkauskestävyys kaavalla

$$v_{Rdi} = c_d f_{ctd} \leq 0,5 v f_{cd}, \quad (3.17)$$

missä c_d on koheesiokertoimen mitoitusarvo, f_{ctd} on heikomman betonin vetolujuuden mitoitusarvo, v on lujuuden pienennyskerroin (ks. luku 4.1.9) ja f_{cd} on heikomman betonin lieriölujuuden mitoitusarvo. Jos saumaan kohdistuva leikkausvoima on suurempi kuin koheesiosta tuleva kestävyys, lasketaan leikkauskestävyyden mitoitusarvo kaavalla

$$v_{Rdi} = \mu_d \sigma_n + \rho f_{yd, re} (\mu_d \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 v f_{cd}, \quad (3.18)$$

missä μ_d on kitkakertoimen mitoitusarvo ja $f_{yd, re}$ on raudoitteen mitoitusmyötölujuus. Keskiarvoisen kolosyvyyden avulla määritetyt mitoitusarvot koheesio- ja kitkakertoimelle saadaan kaavoilla

$$c_d = \frac{1,062 R_m^{0,145}}{\gamma_{coh}} \quad (3.19)$$

ja

$$\mu_d = \frac{1,366 R_m^{0,041}}{\gamma_{fr}}, \quad (3.20)$$

joissa R_m on millimetreissä ilmoitettu keskimääräinen kolosyvyys, γ_{coh} on koheesion osavarmuuskerroin ja γ_{fr} on kitkan osavarmuuskerroin. Santos määrittelee osavarmuuskertoimille seuraavat arvot $\gamma_{coh} = 2,6$ ja $\gamma_{fr} = 1,2$. Täten kertoimien määrittelystä saadaan tarkempi kuin aikaisemmin, ja sopivan kolosyvyyden toteuttaminen esimerkiksi jyrsimällä on suhteellisen helppoa.

Edellä mainitut kaavat ja niiden määrittelemät pintakertoimet c , μ , c_d ja μ_d käyvät kuitenkin vain saumaan, jossa jälkivaluna on käytetty rakennebetonia, ja muottiputki on poistettu ennen valua. Muottiputken jäädessä valuun toinen sauman pinnoista on terästä. Työssä läpikäydyssä tutkimuksissa ei koheesiokerrointa määriteltä teräs-betonipinnalle, mutta kitkakerroin sai useanlaisia arvoja käytetystä yhtälöstä riippuen. Birkeland ja Birkeland [42, ks. 39, s. II.11] esittävät kitkakertoimen arvoksi väliä 0,8...1,0, Shaikh [43, ks. 44, s. 440] esittää arvoksi 0,6 ja Mast [45, ks. 44, s. 439] esittää arvoksi 0,7. Näiden perusteella keskiarvoinen kitkakerroin teräs-betonipinnalle on 0,73.

Lasketut arvot ovat edelleen arvioita. Sauman leikkauslujuuteen vaikuttavat koheesion, kitkan ja raudoituksen lisäksi perusta- ja jälkivalun kimmomoduulit sekä kovettumisolosuhteista riippuvat kutistumiserot [39, 41, 46]. Näiden vaikutusta ei kuitenkaan ole tutkittu riittävästi, jotta niitä voitaisiin huomioida tässä työssä. Kutistumiseroja ei tarvitse huomioida laskennassa, kun jälkivalumassa on kutistumatonta.

4. SUUNNITTELUUN TARKOITETUT STANDAR-DIT JA HYVÄKSYNNÄT

4.1 Eurokoodit ja niiden taustamateriaali

Syksyllä 2018 julkaistiin uusi osa betonirakenteiden eurokoodeihin. Tässä osassa EN 1992-4 *Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 4: Design of fastenings for use in concrete* [3] käsitellään betonirakenteisiin asennettavien kiinnikkeiden ja liitosten mitoitus.

EN 1992-4:n luku 7.2 koskee työn aihepiiriä: tyssäkantaisia ankkureita ja jälkiasennettuja kiinnikkeitä, joihin kohdistuu veto. [3, luku 7.2] Luvussa 3 määritellyt ankkurin murtotavat pätevät edelleen. Jokaiselle murtotavalle on määritelty vaadittavat tarkistukset, joiden avulla liitoksen pätevyys varmennetaan. [3, taulukko 7.1] Tämän työn osalta oleelliset murtotavat ovat kartiomurto, ulosvetomurto, yhdistetty kartio- ja ulosvetomurto, betonin halkeamismurto sekä reunan lohkeamismurto. Teräsmurto voidaan jättää tarkastelujen ulkopuolelle, koska varauskololiitos on tarkoitus mitoittaa ankkurin täydelle kestävyydelle, joka saadaan kiinnikkeen eurooppalaisesta teknisestä tuotespesifioinnista (engl. European Technical Product Specification, ETPS). Ankkurin kestävyys on myös mahdollista laskea. Näiden murtotapojen lisäksi eurokoodi velvoittaa tekemään normaalissakin betonirakenteiden suunnittelussa tehtävät raudoituksen teräsmurron ja ankkurointimurron tarkistukset [3, luku 7.2.1.9].

4.1.1 Betonin kartiomurto

Betonin kartiomurron välttämiseksi on kaavassa 4.1 esitettävän ehdon täyttyvä. Kaava on muotoa

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,c}, \quad (4.1)$$

missä N_{Ed} on vedossa olevan kiinnikkeen vetojännityksen mitoitusarvo ja $N_{Rd,c}$ on vedossa olevan kiinnikkeen kartiomurtoon liittyvä kestävyysmitoitussarvo. Kestävyyden mitoitusarvo saadaan kaavasta

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}, \quad (4.2)$$

missä $N_{Rk,c}$ on kiinnikkeen kartiomurtokestävyyden ominaisarvo ja γ_{Mc} on osavarmuuskertoimen. Kartiomurtokestävyyden ominaisarvo saadaan kaavalla

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{re,N} \psi_{ec,N} \psi_{M,N}, \quad (4.3)$$

missä $N_{Rk,c}^0$ on yksittäisen kiinnikkeen kestävyys ilman vierekkäisten kiinnikkeiden ja betonin reunan vaikutusta, $A_{c,N}$ on toteutuva projektioala (ks. kuva 12), $A_{c,N}^0$ on referenssiprojektioala (ks. kuva 13), kerroin $\psi_{s,N}$ huomioi betonin reunavaikutuksen jännityksissä, kerroin $\psi_{re,N}$ ottaa huomioon pintaraudoituksen ja lohkeilun vaikutuksen, $\psi_{ec,N}$ on kerroin, joka liittyy kiinnikkeiden ryhmävaikutukseen ja kerroin $\psi_{M,N}$ huomioi puristusvoiman vaikutuksen betonin ja kiinnikkeen välillä, kun liitoksessa vaikuttaa taivutusmomentti.

Yksittäisen kiinnikkeen kestävyys lasketaan kaavalla

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1,5}, \quad (4.4)$$

missä k_1 on betonin halkeiluun liittyvä kerroin, joka määritellään erikseen halkeilemattomalle ja halkeillelle betonille perustuen kiinnikkeen eurooppalaiseen tekniseen tuotespesifointiin (ETPS), f_{ck} on betonin lieriöpuristuslujuuden ominaisarvo ja h_{ef} on tehollinen korkeus, käytännössä siis etäisyys perusvalun pinnalta tyssäkannan alkuun. Kertoimen k_1 :n arvoa voidaan arvioida paremman tiedon puutteessa seuraavasti tyssäkantaiselle kiinnikkeelle: halkeilleessa betonissa arvo on 8,9 ja halkeamattomassa betonissa 12,7. Kaavasta voidaan päätellä sen perustuvan CC-menetelmään, sillä kestävyys lasketaan hyvin samanlaisesti luvussa 3 esitettyjen kaavojen kanssa.

Toteutuva projektioala $A_{c,N}$ rajoittuu perustabetonin reunoihin ja viereisten kiinnikkeiden muodostamien kartioiden pinta-alaan. Kiinnikkeelle on määritelty ETPS:ssa ominaisreunaetäisyys $c_{cr,N}$, joka varmistaa vedossa olevan kiinnikkeen toimivuuden kartiomurron tapauksessa. Ryhmälle kiinnikkeitä on myös määritelty samassa tilanteessa käytettävä ominaisjakoväli $s_{cr,N}$. Yleisesti

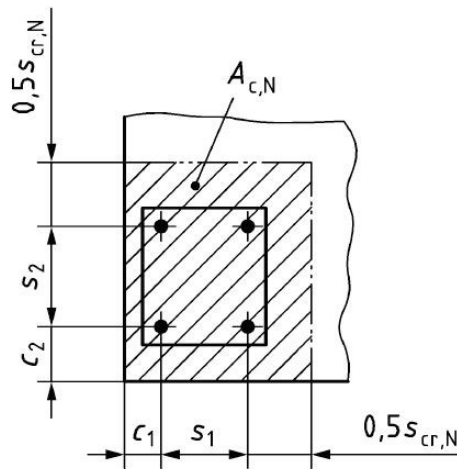
$$s_{cr,N} = 2c_{cr,N} \quad (4.5)$$

Lisäksi eurokoodissa on todettu empiiriseen tietoon perustuen yhteys ominaisreunaetäisyyden ja efektiivisen korkeuden välille. Jälkiasennettujen ja tyssäkantaisten kiinnikkeiden tapauksessa yhteys on

$$c_{cr,N} = \frac{3}{2} h_{ef} \quad (4.6)$$

Tässä työssä oletetaan, että kaavaa 4.6 voidaan käyttää tapauksissa, joissa käytettävän kiinnikkeen kaikkia tietoja ei ole saatavilla. Näiden mittojen avulla voidaan määrittää toteutuva projektioala. Alla oleva kuva 12 havainnollistaa tapausta, jossa on neljä kiinnikettä kahdella eri jakovälillä (s_1 ja s_2) ja kahdella erisuuruisella reunaetäisyydellä (c_1

ja c_2). Vinoviivalla täytetty alue kuvaa projektioalaa, ja aaltoilevan reunan kohdalta betoni jatkuu kuvan ulkopuolelle.



Kuva 12. Esimerkki eurokoodin [3, luku 7.2] mukaisen toteutuvan projektioalalan laskemisesta

Reunaetäisyydet ja jakovälit ovat tässä tapauksessa pienempiä kuin niiden ominaisarvot. Tämän perusteella voidaan johtaa kaava toteutuvalla projektioalalle, kun kyseessä on vain yksi kiinnike. Tämä kaava on pätevä tilanteessa, jossa kiinnikkeen lähellä olevat toiset kiinnikkeet ovat riittävän kaukana, eli jakovälit s_1 ja s_2 ovat vähintään $3h_{ef}$. Täten yhden kiinnikkeen toteutuva projektioala reunaetäisyyksien ollessa raja-arvoja pienempiä on muotoa

$$A_{c,N} = (c_1 + 0,5s_{cr,N})(c_2 + 0,5s_{cr,N}). \quad (4.7)$$

Kun lisäksi huomioidaan kaava 4.5, saadaan yksittäisen kiinnikkeen todelliselle projektioalalle kaava

$$A_{c,N} = (c_1 + c_{cr,N})(c_2 + c_{cr,N}). \quad (4.8)$$

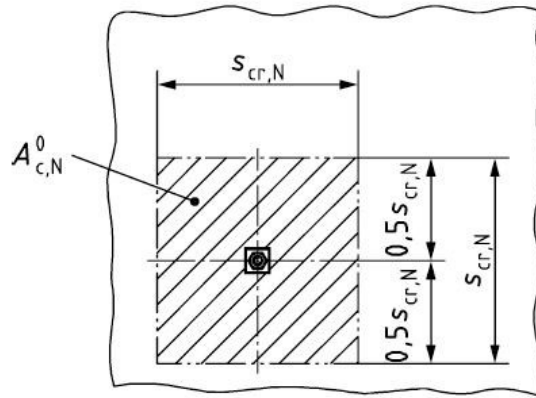
Tapauksessa, jossa reunaetäisyys ylittää ominaisreunaetäisyyden kolmella sivulla, toteutuva projektioala saadaan kaavalla

$$A_{c,N1} = 2(c_1 + c_{cr,N})c_{cr,N}^2. \quad (4.9)$$

Eurokoodin EN1992-4 mukainen referenssiprojektioala $A_{c,N}^0$ saadaan kaavasta

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}, \quad (4.10)$$

jota havainnollistaa yhden kiinnikkeen tapauksessa kuva 13. Tässäkin kuvassa viivoitettu alue kuvaa projektioalaa ja aaltoileva reuna betonin jatkumista kuvan ulkopuolelle.



Kuva 13. Referenssiprojektioalan laskenta eurokoodin [3, luku 7.2] mukaisesti

Edelleen kaavan 4.5 perusteella referenssiprojektioala sievenee muotoon

$$A_{c,N}^0 = 4c_{cr,N}^2. \quad (4.11)$$

Reunavaikutuksen huomioiva kerroin lasketaan kaavalla

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \frac{c_e}{c_{cr,N}} \leq 1, \quad (4.12)$$

missä c_e on pienin liitoksessa oleva reunaetäisyys ja $c_{cr,N}$ on ominaisreunaetäisyys.

Pintaraudoituksen ja lohkeilun vaikutuksen mukaan ottava kerroin saadaan kaavasta

$$\psi_{re,N} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1, \quad (4.13)$$

jossa h_{ef} on aikaisemminkin mainittu tehollinen korkeus. Kertoimen arvoksi voidaan asettaa suoraan 1,0 kahdessa vaihtoehdossa. Ensimmäinen vaihtoehto rajoittaa liitoksessa käytettävän raudoituksen jakovälin vähintään 150 mm:iin. Toisessa vaihtoehdossa käytetyn raudoituksen halkaisija on enintään 10 mm, ja raudoituksen jakoväli on vähintään 100 mm.

Kertoimien $\psi_{ec,N}$ ja $\psi_{M,N}$ laskentaa ei käydä tässä työssä tarkemmin läpi, sillä ne koskevat työn ulkopuolelle rajattuja tilanteita eli ryhmässä olevia tai momentilla rasitettuja kiinnikkeitä. Todetaan vain, että molempien kertoimien maksimiarvot on rajattu arvoon 1 [3, kohta 7.2.1.4 (6-7)]. Siten tutkittavan tilanteen kartiomurtokestävyyden ominaisarvo sievenee muotoon

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{re,N}. \quad (4.14)$$

Edellä on selvitetty kartiomurtokestävyyden laskenta, kun enintään kaksi reunaetäisyyttä on pienempiä kuin ominaisreunaetäisyys. Tilanteessa, jossa ainakin kolme reunaetäisyyttä on pienempiä kuin ominaisreunaetäisyys, kaava 4.4. muuttuu. Kaavassa oleva

tehollinen korkeus h_{ef} voidaan korvata yksittäisen kiinnikkeen tapauksessa termillä h'_{ef} , joka määritellään kaavalla

$$h'_{ef} = \frac{c_{max}}{c_{cr,N}} h_{ef}, \quad (4.15)$$

jossa c_{max} on liitoksen suurin reunaetäisyys.

4.1.2 Ulosvetomurto

Ulosvetomurron tarkistus eurokoodin mukaan on tarkoitettu vain tyssäkantaistille tai jälkiasennetuille mekaanisille ankkureille. Ulosvetomurron estämiseksi yksittäisellä kiinnikkeellä, on seuraavan ehdon toteuduttava

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,p}, \quad (4.16)$$

jossa N_{Ed} on vedossa olevan kiinnikkeen vetojännityksen mitoitusarvo ja $N_{Rd,p}$ on vedossa olevan kiinnikkeen ulosvetomurtoon liittyvä kestävyys mitoitusarvo. Kestävyyden mitoitusarvo saadaan kaavasta

$$N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}}, \quad (4.17)$$

missä $N_{Rk,p}$ on kiinnikkeen ulosvetokestävyyden ominaisarvo ja γ_{Mp} on murtotapaan liittyvä osavarmuuseroin. Ulosvetokestävyyden ominaisarvo määritellään kahdella tavalla. Jälkiasennettavien mekaanisten ja tyssäkantaisten kiinnikkeiden tapauksessa ominaiskestävyys saadaan kunkin kiinnikkeen ETPS:sta. [3, kohta 7.2.1.5] Valuun asennettavien kiinnikkeiden tapauksessa ominaiskestävyys saadaan kaavalla

$$N_{Rk,p} = k_2 A_h f_{ck}, \quad (4.18)$$

missä k_2 on betonin halkeiluun liittyvä kerroin ja A_h on tyssäkannan voimaa välittävä pinta-ala. Käytännössä tämä tarkoittaa tyssäkannan kokonaispinta-alaa, josta on vähennetty kiinnikkeen varren poikkipinta-ala samassa suunnassa. Kertoimen k_2 arvo halkeilelle betonille on 7,5 ja halkeamattomalle betonille 10,5.

4.1.3 Yhdistetty kartio- ja ulosvetomurto

Yhdistetty kartio- ja ulosvetomurto on eurokoodin EN1992-4 mukaan tarkoitettu vain jälkiasennettaville tartunta-ankkureille. Tässä työssä käydään kuitenkin myös tämä murtotapa läpi, sillä luvun 3 perusteella yhdistetty kartio- ja ulosvetomurto on kuitenkin yleinen murtotapa myös varauskoloon valetuille ankkureille.

Yhdistetyn murron tapauksessa, on alla olevan kaavan 4.19 ehdon toteuduttava, jotta murrolta vältytään. Ehto on muotoa

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,pc}, \quad (4.19)$$

jossa $N_{Rd,pc}$ on vedossa olevan kiinnikkeen yhdistettyyn ulosveto- ja kartiomurtoon liittyvä kestävyys mitoitusarvo. Tämä mitoitusarvo lasketaan kaavalla

$$N_{Rd,pc} = \frac{N_{Rk,pc}}{\gamma_{Mp}}, \quad (4.20)$$

missä $N_{Rk,pc}$ on yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron ominaiskestävyys yhdelle kiinnikkeelle ja γ_{Mp} on osavarmuuskerroin. Yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron ominaiskestävyys lasketaan kaavalla

$$N_{Rk,pc} = N_{Rk,p}^0 \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \psi_{g,Np} \psi_{s,Np} \psi_{re,N} \psi_{ec,Np}, \quad (4.21)$$

missä $N_{Rk,p}^0$ on yhden kiinnikkeen ominaiskestävyys ilman vierekkäisten kiinnikkeiden tai betonin reunojen vaikutusta, $A_{p,N}$ on toteutuva tartunta-ala, $A_{p,N}^0$ on referenssitartunta-ala, kerroin $\psi_{g,Np}$ ottaa huomioon vierekkäisten tartunta-ankkurien vaikutuksen, kerroin $\psi_{s,Np}$ huomioi reunojen vaikutuksen jännitysten jakautumisessa, kerroin $\psi_{re,N}$ määritellään kaavalla 4.13 ja kerroin $\psi_{ec,Np}$ ottaa huomioon ryhmävaikutuksen, kun ryhmässä oleviin kiinnikkeisiin kohdistuu erisuuruisia vetovoimia.

Yhden kiinnikkeen ominaiskestävyys ilman vierekkäisten kiinnikkeiden tai reunojen vaikutusta saadaan kaavalla

$$N_{Rk,p}^0 = \psi_{sus} \tau_{Rk} \pi d_h h_{ef}, \quad (4.22)$$

jossa ψ_{sus} on pitkäaikaikuormitukseen liittyvä kerroin, τ_{Rk} on jälkiasennettavan kiinnikkeen perusvalun lujuusluokkaan perustuva tartuntalujuus, d_h on kiinnikkeen halkaisija tai leveys ja h_{ef} on tehollinen korkeus. Kaava on hyvin samanlainen luvun 3 tutkimustuloksiin perustuvien kaavojen kanssa, jotka perustuivat vakiosuuruisen tartuntajännityksen malliin.

Pitkäaikaikuormitukseen liittyvä kerroin ψ_{sus} määritellään kahdella tavalla riippuen siitä, onko suhde α_{sus} suurempi kuin kerroin ψ_{sus}^0 . Muuttuja α_{sus} on pitkäaikaisten kuormitusten (tähän luetaan pysyvät kuormat ja pysyvä osuus muuttuvista kuormista) suhde kaikkiin kuormituksiin, kun tarkastelu tehdään murtorajatilassa. Kerroin ψ_{sus}^0 on tuotekohtainen arvo, joka huomioi pitkäaikaikuormitusten vaikutuksen tartuntalujuuteen. Kertoimen arvo on esitetty kiinnikkeen ETPS:ssa.

Jos $\alpha_{sus} \leq \psi_{sus}^0$, saa kerroin ψ_{sus} arvon 1. Jos $\alpha_{sus} > \psi_{sus}^0$, saa kerroin ψ_{sus} arvon kaavasta

$$\psi_{sus} = \psi_{sus}^0 + 1 - \alpha_{sus}. \quad (4.23)$$

Eurokoodissa [3, kohta 7.2.1.6 (2)] ohjeistetaan kertoimen ψ_{sus}^0 arvoksi 0,6, jos tarkempaa arvoa ei ole annettu kiinnikkeen tuotespesifioinnissa. Tämä arvo pätee tilanteessa, jossa pitkäaikaikuormat vaikuttavat enintään 10 vuoden ajan lämpötilan ollessa 43 °C ja suunnitellun käyttöiän ollessa 50 vuotta.. Jos betonin lämpötila pitkällä aikavälillä on jotain muuta, vaaditaan kiinnikkeelle tarkempaa testausta. Testaus suoritetaan eurooppalaisen arviointidokumentin *EAD 330199-00-0601: Bonded Fasteners for Use in Concrete* mukaisesti [47, kohta 2.2.2.6]. Eurokoodin mukaan yleisenä sääntönä voidaan olettaa, että lämpötilan ollessa alle 43 astetta ψ_{sus}^0 :n arvo on suurempi kuin 0,6.

Edellisten kaavojen perusteella huomataan, että pitkäaikaikuormat vaikuttavat heikentävästi tartunta-ankkurin kestävyys. Heikentyminen johtuu pitkäaikaikuormien aiheuttamasta virumisesta jälkivalumassassa lämpötilan noustessa. Ilmiö vaikuttaa erityisesti kiinnikkeisiin, joissa käytetään hartsipohjaisia jälkivalumassoja [23, 24, 25, 26]. Betoni ei kuitenkaan ole yhtä herkkä lämpötilan nousulle, joten sementtipohjaista jälkivalumassaa käytettäessä voidaan kertoimen ψ_{sus} arvoksi asettaa suoraan 1. Siten yhden kiinnikkeen ominaiskestävyys ilman vierekkäisten kiinnikkeiden tai perusvalun reunoja vaikutusta sementtipohjaista jälkivalumassaa käytettäessä saadaan kaavalla

$$N_{Rk,p}^0 = \tau_{Rk} \pi d_h h_{ef}. \quad (4.24)$$

Tartuntalujuuden τ_{Rk} merkintätapa riippuu betonin halkeilusta. Haljenneelle betonille merkintä on $\tau_{Rk,cr}$ ja halkeamattomalle betonille $\tau_{Rk,ucr}$. Molemmat lujuudet määritellään kiinnikkeen ETPS:ssa.

Toteutuva tartunta-ala $A_{p,N}$ lasketaan samalla periaatteella luvun 4.1.1 toteutuvan projektioalan $A_{c,N}$ kanssa. Tässä tapauksessa kiinnikkeelle on määritelty uusi ominaisreunaetäisyys $c_{cr,Np}$, jota käytetään laskuissa aikaisemman etäisyyden $c_{cr,N}$ tilalla. Sama koskee myös jakoväliä, kun $s_{cr,N}$ korvataan uudella termillä $s_{cr,Np}$. Samat korvaukset tehdään myös referenssitartunta-alaa laskettaessa, sillä laskenta perustuu referenssiprojektioalaan $A_{c,N}^0$.

Ominaisjakoväli yhdistetylle kartio- ja ulosvetomurrolle lasketaan kaavasta

$$s_{cr,Np} = 7,3 d_h (\psi_{sus} \tau_{Rk,20})^{0,5} \leq 3 h_{ef}, \quad (4.25)$$

jossa τ_{20} on halkeilemattoman betonin arvo muuttujalle $\tau_{Rk,ucr}$ lujuusluokassa C20/25. Ominaisreunaetäisyyden ja ominaisjakovälin yhteys saadaan kaavasta

$$c_{cr,Np} = \frac{s_{cr,Np}}{2}. \quad (4.26)$$

Siten toteutuva tartunta-ala tapauksessa, jossa yhdellä kiinnikkeellä on kaksi erilaista reunaetäisyyttä ja ne ovat pienempiä kuin ominaisreunaetäisyys (vrt. kaava 4.7), saadaan kaavalla

$$A_{p,N} = (c_1 + 0,5s_{cr,Np}) \cdot (c_2 + 0,5s_{cr,Np}). \quad (4.27)$$

Kun lisäksi huomioidaan kaava 4.26, saadaan todellisen tartunta-alan kaava muotoon

$$A_{p,N} = (c_1 + c_{cr,Np})(c_2 + c_{cr,Np}), \quad (4.28)$$

joka selkeästi vastaa kaavaa 4.8. Pinta-alojen laskenta vastaa siis kartiomurron ja yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron tapauksissa toisinaan. Siten referenssitartunta-ala tilanteessa, jossa yksittäinen kiinnike on ominaisreunaetäisyyksiä kauempana perusvalun reunoista, saadaan kaavalla

$$A_{p,N}^0 = 4c_{cr,Np}^2. \quad (4.29)$$

Myös reunavaikutuksen kerroin $\psi_{s,Np}$ lasketaan samalla tavalla kuin kartiomurron kaavoissa luvussa 4.1.1. Kerroin saadaan kaavalla

$$\psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 \frac{c_e}{c_{cr,Np}} \leq 1, \quad (4.30)$$

jossa c_e on liitoksen pienin reunaetäisyys. Kertoimet $\psi_{g,Np}$ ja $\psi_{ec,Np}$ liittyvät kiinnikeryhmiin, joten niiden laskentaa ei tässä työssä käydä läpi. Kertoimien maksimiarvot rajoittuvat arvoon 1. Siten tutkittavan tilanteen yhdistetty ulosveto- ja kartiomurtokestävyys sievenee muotoon

$$N_{Rk,pc} = N_{Rk,p}^0 \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \psi_{s,Np} \psi_{re,N}, \quad (4.31)$$

jossa $\psi_{re,N}$ määritellään samoin kuin kartiomurrossa, kaavalla 4.13.

4.1.4 Betonin halkeamismurto

Eurokoodissa EN1992-4 on määritelty kaksi tilannetta, jolloin betonissa voi tapahtua halkeamismurto. Murto voi tapahtua asennusvaiheessa esimerkiksi kiinnikkeitä kiristettäessä tai kuormitusten johdosta normaalissa käyttötilanteessa tai onnettomuustilanteissa.

Asennusvaiheen halkeilu voidaan estää täyttämällä vaatimukset minimireunaetäisyydelle c_{min} , minimijakovälille s_{min} ja betonivalun minimipaksuudelle h_{min} . Lisäksi on täytettävä vaatimukset raudoitteelle. Asennusvaiheen halkeilu koskee kuitenkin kiila-ankkureita (engl. wedge anchors), joten näitä vaatimuksia ei käsitellä tarkemmin.

Kuormitusten aiheuttama halkeamismurto voidaan estää kahdella tavalla: suunnittelemalla rakenne tiettyjä alkuehtoja vastaavaksi tai varmistamalla, että halkeamiskestävyyden mitoitusarvo on suurempi kuin kiinnikkeeseen kohdistuva vetovoiman mitoitusarvo. Alkuehtoja on kaksi, joista vain toisen on täyttyvä. Ensimmäisessä ehdossa reunaetäi-

syyden c_e on oltava vähintään yhtä suuri kuin halkeamismurron ominaisreunataisyys $c_{cr,sp}$ ja betonivalun paksuuden h on oltava vähintään minipaksuuden h_{min} verran. Toisessa ehdossa annetaan vaatimuksia kartiomurron ja ulosvetomurron sekä yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron laskentaan. Vaatimuksena on, että laskenta on tehty halkeille betonille, käytetty pintarauditus on mitoitettu halkeamisvoimille ja se rajoittaa halkeamavälin 0,3 mm:iin. Eligehausen *et al.* [6. s. 103] mukaan halkaisuvoiman suuruus riippuu yksittäisen ankkurin tapauksessa siihen kohdistuvasta vetovoimasta. Tyssäkantaistille ankkureille halkaisuvoima on $0,5N_{Ed}$.

Eurokoodissa määritellään tapa, jolla halkeamisvoimia vastustava osuus raudoituksesta voidaan laskea. Tätä tapaa suositellaan käytettäväksi, jos parempaa tai tarkempaa tietoa ei ole saatavilla. Halkeamisvoimien välittämiseen osallistuvan raudoituksen pinta-ala voidaan laskea kaavalla

$$\sum A_{s,re} = k_4 \frac{\sum N_{Ed}}{f_{yk,re} / \gamma_{Ms,re}}, \quad (4.32)$$

missä k_4 on käytettävästä kiinnikkeestä riippuva kerroin, $\sum N_{Ed}$ on liitokseen kuuluviin vedossa oleviin kiinnikkeisiin vaikuttavien mitoitusvetovoimien summa, $f_{yk,re}$ on raudoitteen ominaismyötölujuus ja $\gamma_{Ms,re}$ on raudoituksen osavarmuuskerroin. Kertoimen k_4 arvo tartunta-ankkureille ja tyssäkantaistille kiinnikkeille on 0,5. Tyssäkantaisten ankkureiden kerroin vastaa Eligehausenin *et al.* esittämää halkaisuvoiman kerrointa, ja halkaisuvoima tyssäkantaistille ankkureille on $0,5N_{Ed}$. Halkaisuvoima tartunta-ankkureille on $0,4N_{Ed}$. Eurokoodissa suositellaan myös, että rauditus asennetaan symmetrisesti ja kiinnikkeen läheisyyteen.

Jos kumpikaan edellä mainituista liitoksen mittoihin tai raudoitukseen liittyvistä ehdoista ei toteudu, täytyy ankkuroinnin kestävyys varmistaa laskemalla. Halkeamismurto estetään, kun seuraavan ehto toteutuu. Ehto on muotoa

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp}, \quad (4.33)$$

jossa $N_{Rd,sp}$ on halkeamismurron mitoituskestävyys. Mitoituskestävyys saadaan kaavalla

$$N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}}, \quad (4.34)$$

missä $N_{Rk,sp}$ on halkeamismurron ominaiskestävyys liitokselle ja γ_{Msp} murtotapaan liittyvä osavarmuuskerroin. Ominaiskestävyys halkeamismurrolle saadaan kaavalla

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,sp}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{re,N} \psi_{ec,N} \psi_{b,sp}, \quad (4.35)$$

jossa $N_{Rk,sp}^0$ on yksittäisen kiinnikkeen ominaiskestävyys halkeamismurrolle ilman vie-
 rekkäisten kiinnikkeiden ja perusvalun reunojen vaikutusta ja $\psi_{b,sp}$ on kerroin, joka
 huomioi betonivalun todellisen paksuuden. Yksittäisen kiinnikkeen ominaiskestävyys
 saadaan ETPS:sta, ja termit $A_{c,N}$, $A_{c,N}^0$, $\psi_{s,N}$, $\psi_{re,N}$, $\psi_{ec,N}$ lasketaan kuten betonin kar-
 tiomurrossa. Termejä laskiessa täytyy kuitenkin muistaa korvata ominaisreunaetäisyy-
 det ja -jakovälit tähän murtotapaan liittyvillä vastaavilla termeillä $c_{cr,sp}$ ja $s_{cr,sp}$, jotka
 myös määritellään kiinnikkeen tuotespesifioinnissa.

Eurokoodissa tuodaan esille laskentakaava yksittäisen kiinnikkeen ominaiskestävyyden
 laskemiseen tilanteessa, jossa tuotespesifioinnissa ei tätä arvoa ole annettu. Konservatii-
 visella puolella oleva arvo saadaan laskettua kaavalla

$$N_{Rk,sp}^0 = \min\{N_{Rk,p}; N_{Rk,c}^0\} \quad (4.36)$$

Ulosvetokestävyyttä $N_{Rk,p}$ käytetään jälkiasennettujen mekaanisten ja paikalla valettu-
 jen kiinnikkeiden tapauksessa. Tartunta-ankkurien tapauksessa $N_{Rk,p}$ korvataan termillä
 $N_{Rk,p}^0$. Betonivalun todellisen paksuuden huomioiva kerroin saadaan kaavalla

$$\psi_{b,sp} = \left(\frac{h}{h_{min}}\right)^{2/3} \leq \max\left\{1; \left(\frac{h_{ef}+1,5c_1}{h_{min}}\right)^{2/3}\right\} \leq 2, \quad (4.37)$$

jossa c_1 on kuvassa 12 esitetty reunaetäisyys. Kerroin $\psi_{ec,N}$ liittyy edelleen kiinnikkei-
 den ryhmävaikutuksiin, joten sitä ei tässä työssä huomioida laskennassa. Ominaiskestä-
 vyys halkeamismurrolle sievenee siis muotoon

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,sp}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{re,N} \psi_{b,sp}. \quad (4.38)$$

4.1.5 Reunan lohkeamismurto

Reunan lohkeamismurto koskee eurokoodin EN1992-4 mukaan tyssäkantaisia ankkurei-
 ta. Tämän murtotavan estäminen voidaan tehdä kahdella tavalla: varmistamalla riittävät
 reunaetäisyydet tai mitoittamalla lohkeamismurron mitoituskestävyys suuremmaksi
 kuin kiinnikkeeseen vaikuttava mitoitusvetovoima.

Tarkempaa laskennallista tarkastelua ei tarvitse tehdä, jos liitoksen pienin reunaetäisyys
 $c_e > 0,5h_{ef}$. Jos tätä ehtoa ei kuitenkaan voida täyttää, täytyy seuraavan ehdon olla
 voimassa reunan lohkeamismurron estämiseksi. Ehto on muotoa

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,cb}, \quad (4.39)$$

jossa $N_{Rd,cb}$ on liitoksen reunan lohkeamismurtoon liittyvä mitoituskestävyys. Tämä
 mitoituskestävyys saadaan kaavalla

$$N_{Rd,cb} = \frac{N_{Rk,cb}}{\gamma_{Mc}}, \quad (4.40)$$

jossa $N_{Rk,cb}$ on liitoksen lohkeamismurtoon liittyvä ominaiskestävyys. Ominaiskestävyys lasketaan kaavasta

$$N_{Rk,cb} = N_{Rk,cb}^0 \frac{A_{c,Nb}}{A_{c,Nb}^0} \psi_{s,Nb} \psi_{g,Nb} \psi_{ec,Nb}, \quad (4.41)$$

missä $N_{Rk,cb}^0$ on yksittäisen kiinnikkeen lohkeamismurtoon liittyvä ominaiskestävyys ilman vierekkäisten kiinnikkeiden tai perusvalun reunan vaikutusta, $A_{c,Nb}$ on toteutuva projektioala, $A_{c,Nb}^0$ on referenssiprojektioala, kerroin $\psi_{s,Nb}$ ottaa huomioon reunan vaikutuksen jännitysten jakautumisessa, kerroin $\psi_{g,Nb}$ huomioi reunansuuntaisen kiinnikerivin ryhmävaikutuksen ja kertoimella $\psi_{ec,Nb}$ otetaan huomioon ryhmävaikutus, kun ryhmän kiinnikkeisiin kohdistuu samanaikaisesti erisuuruisia vetovoimia.

Yksittäisen kiinnikkeen lohkeamismurron ominaiskestävyys saadaan kaavalla

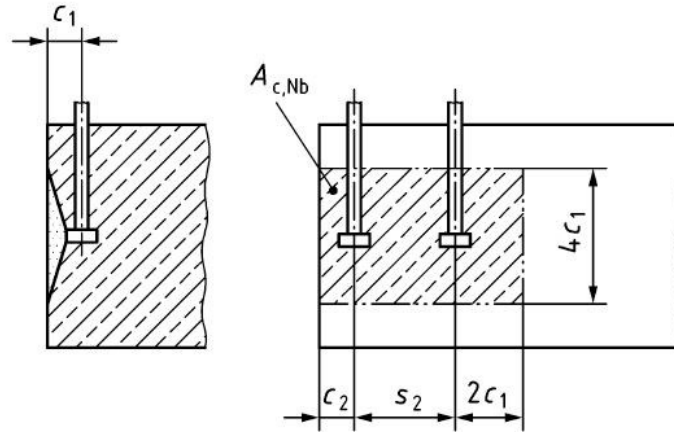
$$N_{Rk,cb}^0 = k_5 c_1 \sqrt{A_h} \sqrt{f_{ck}}, \quad (4.42)$$

missä k_5 on betonin halkeiluun liittyvä kerroin, c_1 on reunaetäisyys (ks. kuva 14, 15 ja 16) ja A_h on tyssäkannan voimaa välittävä pinta-ala. Kerroin k_5 saa arvoksi 8,7, kun kiinnike sijaitsee halkeilleessa betonissa ja 12,2 halkeamattomassa betonissa.

Toteutuva projektioala $A_{c,Nb}$ rajoittuu vierekkäisten kiinnikkeiden rajoittamiin murtumisalueisiin sekä perusvalun reunoihin ja paksuuteen. Kuvassa 14 on esitetty toteutuva projektiopinta-ala tilanteessa, jossa kiinnikerivin suunnassa reunaetäisyys c_2 on enintään toisen suunnan kaksinkertainen reunaetäisyys c_1 ja kiinnikkeiden jakoväli s_2 on pienempi tai yhtä suuri kuin nelinkertainen reunaetäisyys c_1 . Sama voidaan esittää yhtälöparina

$$\begin{cases} c_2 \leq 2c_1 \\ s_2 \leq 4c_1 \end{cases}, \quad (4.43)$$

jossa esiintyvät mitat on esitetty kuvassa 14. Projektioala on esitetty kuvassa vinoviivoin, ja aaltoileva reuna kuvaa perusvalun jatkumista kuvan ulkopuolelle.



Kuva 14. Esimerkki EN1992-4:n [3] mukaisesta toteutuva projektioalan laskennasta lohkeamismurron tapauksessa, kun kiinnikkeen sijaitsevat keskellä perusvalua

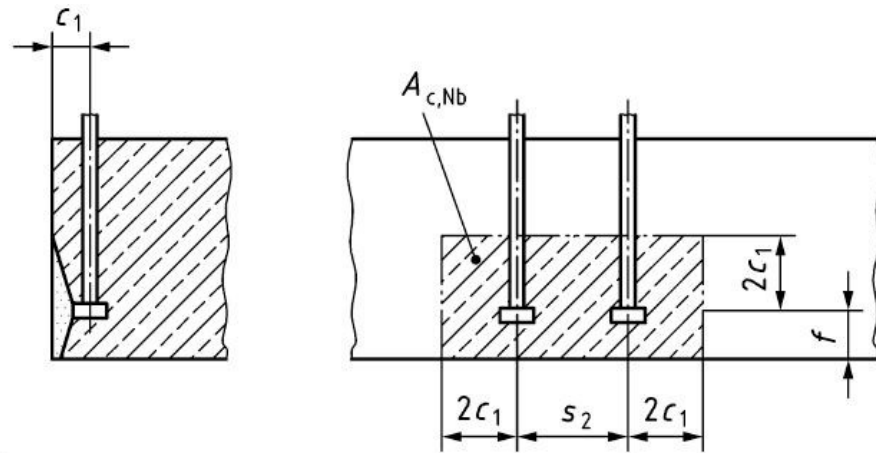
Tällöin toteutuva projektioala saadaan kaavalla

$$A_{c,Nb} = 4c_1(c_2 + c_2 + 2c_1). \quad (4.44)$$

Tilanteessa, jossa kiinnikkeet sijaitsevat syvemmällä perusvalussa, laskukaava muuttuu hieman. Betonin alareuna alkaa myös rajoittaa projektioalaa, ja tätä tilannetta havainnollistaa kuva 15. Kiinnikkeiden jakoväli on edelleen pienempi kuin nelinkertainen reunaetäisyys c_1 , mutta reunaetäisyys c_2 on niin suuri, että projektioala rajoittuu arvoon $2c_1$ rivin molemmissa päädyissä. Lisäksi etäisyys f tyssäkanavan yläreunasta betonin alareunaan on alle arvon $2c_1$, mikä siis rajoittaa pinta-alaa. Tämä voidaan ilmaista yhtälöparina

$$\begin{cases} f \leq 2c_1 \\ s_2 \leq 4c_1 \end{cases} \quad (4.45)$$

jota havainnollistetaan kuvassa 15.

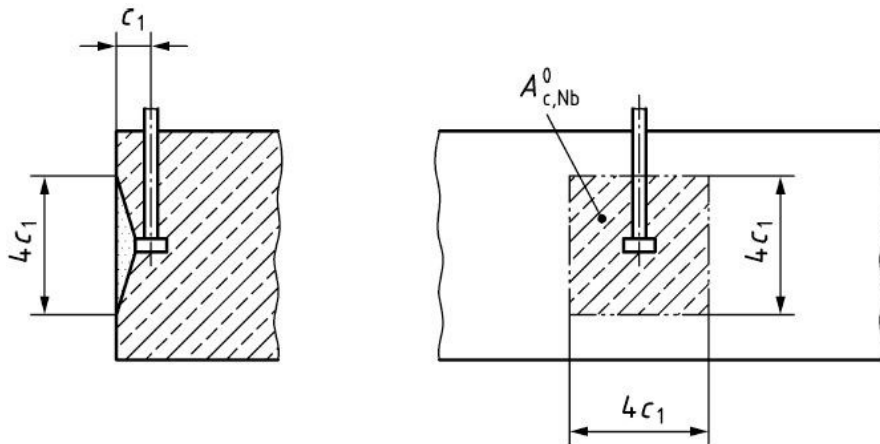


Kuva 15. Esimerkki EN1992-4:n [3] mukaisesta todellisen projektioalan laskennasta lohkeamismurron tapauksessa, kun kiinnikkeen sijaitsevat perusvalun alaosassa

Tällöin toteutuva projektio-pinta-ala lasketaan kaavalla

$$A_{c,Nb} = (2c_1 + f)(4c_1 + s_2). \quad (4.46)$$

Referenssiprojektioala $A_{c,Nb}^0$ on yksittäisen kiinnikkeen projektioala, kun reunaetäisyydet eivät ole rajoittuneet vieressä olevien kiinnikkeiden tai perusvalun reunojen takia. Täten alan sivumitat saavat suurimmat mahdolliset arvonsa yksittäisen kiinnikkeen tapauksessa, $4c_1$. Kuva 16 havainnollistaa tilannetta.



Kuva 16. EN1992-4:n [3] mukainen referenssiprojektioalan laskenta lohkeamismurron tapauksessa

Kuvaan perustuen saadaan referenssiprojektioala lohkeamismurrolle kaavalla

$$A_{c,Nb}^0 = (4c_1)^2. \quad (4.47)$$

Kerroin $\psi_{s,Nb}$, joka ottaa huomioon reunan vaikutuksen jännitysten jakautumisessa lasketaan kaavalla

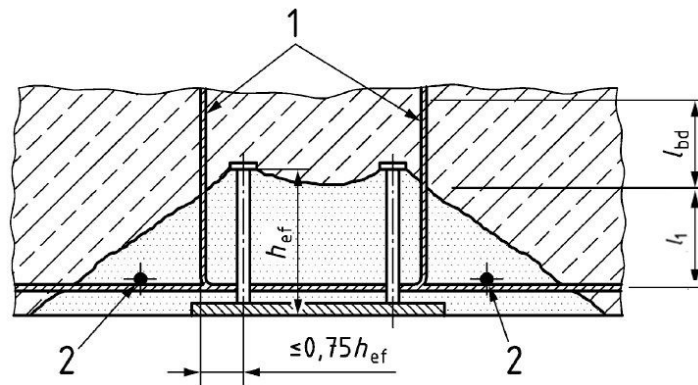
$$\psi_{s,Nb} = 0,7 + 0,3 \frac{c_2}{2c_1} \leq 1, \quad (4.48)$$

jossa käytetyn merkinnät nähdään kuvista 14–16. Kiinnikkeiden ryhmävaikutuksia huomioivia kertoimia $\psi_{g,Nb}$ ja $\psi_{ec,Nb}$ ei käsitellä tässä työssä. Siten kiinnikkeen lohkeamismurron ominaiskestävyys sievenee muotoon

$$N_{Rk,cb} = N_{Rk,cb}^0 \frac{A_{c,Nb}}{A_{c,Nb}^0} \psi_{s,Nb}. \quad (4.49)$$

4.1.6 Lisäraudoituksen vaikutus

Eurokoodissa EN 1992-4 annetaan ohjeistuksia myös tilanteelle, jossa alueella oleva lisäraudoitus vaikuttaa ankkuroinnin kestävyys. Lisäraudoitus on kiinnikkeiden viereen asennettavia hakoja, jotka voivat olla muodoltaan koukkuja tai lenkkejä. Kuva 17 havainnollistaa lisäraudoitusta. Lisäraudoitus on merkitty numerolla 1, ja numero 2 osoittaa rakenteeseen tulevan pintaraudoituksen.



Kuva 17. EN 1992-4 [3, muokattu] mukainen lisä- (1) ja pintaraudoitus (2)

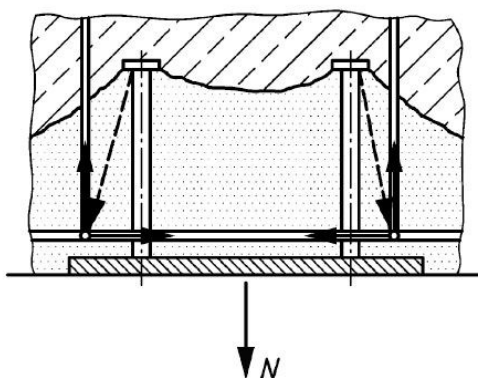
Koska tämä raudoitus ottaa vastaan vetovoimia, on sille asetettu vaatimuksia koskien raudoituksen materiaalia, kokoa, mitoitusta, sijoitusta kiinnikkeisiin nähden ja ankkurointia. Myös pintaraudoitukselle on vaatimuksia. Tässä työssä on oletettu lisäraudoituksen sääntöjen soveltuvan poimutettuun muottiputkeen valetulle ankkurille ja muille varauskolollisille ankkureille.

Lisäraudoituksena käytetään harjaterästä, jonka halkaisija ei saa olla suurempi kuin 16 mm. Eurokoodin EN 1992-1-1 mukaiset vaatimukset teräksen lujuudelle ja taivutussäteelle ovat voimassa. Ominaismyötölujuus rajoitetaan 600 MPa:iin ja raudoitetankojen taivutussäde saadaan kansallisesta liitteestä [48 s. 23]. Siten tangon halkaisijan ϕ_{re} ollessa enintään 16 mm, taivutustelan halkaisija on $4,5\phi_{re}$. Lisäraudoitus mitoitetään rasitetuimman kiinnikkeen mukaan. Tämän perusteella saatua raudoitusta ohjeistetaan käyttämään kaikkien kiinnikkeiden ympärillä.

Koska lisäraudoituksen tarkoituksena on ankkuroida kiinnikkeet betoniin erityisesti silloin, kun betonissa tapahtuu kartiomurto, vain etäisyydellä $0,75h_{ef}$ ja sitä lähempänä olevat lisäraudoitukset otetaan huomioon mitoituksessa. Standardi ohjeistaa muutenkin asentamaan lisäraudoituksen mahdollisimman lähelle kiinnikkeitä, jotta murtokartion kulmaan nähden tulee mahdollisimman vähän epäkeskisyyttä. Lisäksi raudoituksen täytyy ankkuroitua murtokartioon, joka on esitetty kuvassa 17. Vaadittu ankkurointipituus l_1 on suorille tangoille $10\phi_{re}$ ja kaikille muun muotoiselle $4\phi_{re}$.

Lisäraudoitus täytyy ankkuroida myös perusvaluun. Kuvassa 17 oleva ankkurointipituus l_{bd} sekä sen laskenta on määritelty eurokoodissa EN1992-1-1. Perusvalun ankkuroidut raudoitukset voivat aiheuttaa kartiomurron, joka pitää tarkistaa. Luvusta 4.1.1 poiketen tehollinen korkeus ei ole kuitenkaan ole käytetyn kiinnikkeen korkeus, vaan korkeudeksi valitaan lisäraudoituksen pituus. Kartiomurron tarkistusta ei tarvitse tehdä, jos lisäraudoitus ankkuroidaan muuhun raudoitukseen riittävällä jatkospituudella.

Lisäraudoituksen lisäksi myös pintaraudoitusta käsitellään eurokoodissa. Koska pintaraudoitus on kytköksissä lisäraudoitukseen, siihen kohdistuu ristikkomallin mukaiset sekä halkeamismurron mukaiset voimat. Ankkurointiliitoksen ja raudoituksen muodostamaa ristikkomallia havainnollistaa kuva 18. Halkeamismurron kestävyys saadaan laskettua luvun 4.1.4 mukaan.



Kuva 18. EN 1992-4 [3] mukainen lisäraudoituksen, ankkuroinnin ja pintaraudoituksen muodostama ristikkomalli

Luvun 4.1.1 mukainen kartiomurron laskenta voidaan jättää tekemättä, koska lisäraudoituksen tarkoituksena on toimia koko kiinnityksen kantavana osana. Tällöin täytyy varmistaa, että raudoitus kestää siihen kohdistuvat kuormat. Tämä tehdään laskemalla raudoituksen teräsmurto ja ankkurointimurto, joita käsitellään seuraavissa kahdessa alaluvussa.

4.1.7 Raudoituksen teräsmurto

Raudoituksen teräsmurto yhden kiinnikkeen tapauksessa saadaan eurokoodin EN 1992-4 mukaan estettyä, kun seuraava ehto täyttyy. Ehto on muotoa

$$N_{Ed,re} \leq N_{Rd,re}, \quad (4.50)$$

jossa $N_{Ed,re}$ on lisäraudoituksessa vaikuttavan vetovoiman mitoitusarvo ja $N_{Rd,re}$ on lisäraudoituksen teräsmurron mitoituskestävyys. Mitoituskestävyys saadaan kaavalla

$$N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}, \quad (4.51)$$

missä $N_{Rk,re}$ on lisäraudoituksen teräsmurron ominaiskestävyys ja $\gamma_{Ms,re}$ on raudoituksen teräsmurron osavarmuuskerroin.

Yhdelle kiinnikkeelle kohdistetun lisäraudoituksen ominaiskestävyys saadaan kaavasta

$$N_{Rk,re} = \sum_{i=1}^{n_{re}} A_{s,re,i} \cdot f_{yk,re}, \quad (4.52)$$

jossa $A_{s,re,i}$ on yhden raudoitteen poikkipinta-ala, n_{re} on yhdelle kiinnikkeelle teholliseksi laskettavien raudoitteiden lukumäärä ja $f_{yk,re}$ raudoitteen ominaismyötölujuus, joka on rajoitettu arvoon 600 MPa:iin.

4.1.8 Raudoituksen ankkurointimurto

Yhden kiinnikkeen tapauksessa raudoituksen ankkurointimurto saadaan estettyä, kun seuraava ehto toteutuu. Eurokoodin EN 1992-4 mukainen ehto on muotoa

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,a}, \quad (4.53)$$

jossa $N_{Rd,a}$ lisäraudoituksen ankkurointimurron mitoituskestävyys. Mitoituskestävyys saadaan kaavalla

$$N_{Rd,a} = \sum_{i=1}^{n_{re}} N_{Rd,a,i}^0, \quad (4.54)$$

jossa $N_{Rd,a,i}^0$ on yksittäisen raudoitetangon ankkurointikestävyyden mitoitusarvo.

Yksittäisen tangon ankkurointikestävyys saadaan kaavalla

$$N_{Rd,a,i}^0 = \frac{l_1 \pi \phi_{re} f_{bd}}{\alpha_1 \alpha_2}, \quad (4.55)$$

missä f_{bd} on raudoitteen tartuntalujuuden mitoitusarvo ja α_1 sekä α_2 ovat betonipeitteeseen ja tankojen muotoon liittyviä kertoimia. Tartuntalujuuden mitoitusarvo lasketaan eurokoodin EN 1992-1-1 mukaan kaavalla

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}, \quad (4.56)$$

missä η_1 ja η_2 ovat tartuntaolosuhteisiin ja tangon laatuun liittyvät kertoimet ja f_{ctd} on betonin vetolujuuden mitoitusarvo. Taulukko 3 esittää kertoimien η_1 ja η_2 arvot.

Taulukko 3. EN 1992-1-1[34, muokattu] mukaiset muuttujien η_1 ja η_2 arvot

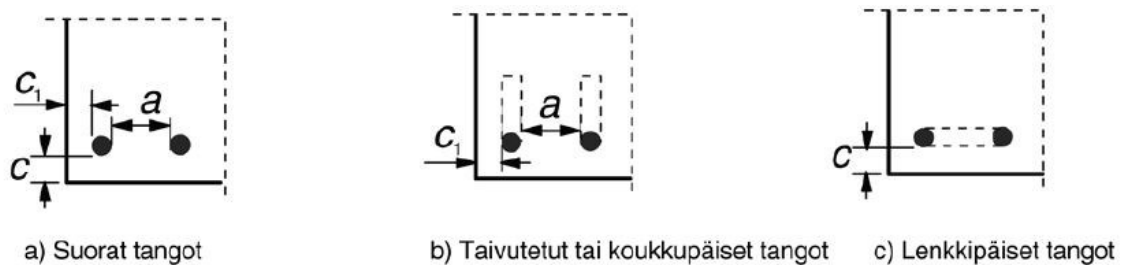
Muuttuja	η_1	η_2
Hyvät olosuhteet tartunnalle	1,0	-
Muulloin	0,7	-
Tangon halkaisija $\phi_{re} \leq 32$	-	1,0

Kertoimet α_1 sekä α_2 saadaan taulukosta 4. Kerroin α_1 liittyy tankojen muotoon ja α_2 liittyy betonipeitteeseen.

Taulukko 4. EN 1992-1-1 mukainen kertoimien α_1 ja α_2 määrittäminen [34, muokattu]

Vaikuttava tekijä	Ankkurointityyppi	Betoniteräs
Tankojen muoto	Suora	$\alpha_1 = 1,0$
	Muu kuin suora	$\alpha_1 = 0,7$, jos $c_d > 3\phi_{re}$ muuten $\alpha_1 = 1,0$
Betonipeite	Suora	$0,7 \leq \alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - \phi_{re})/\phi_{re} \leq 1,0$
	Muu kuin suora	$0,7 \leq \alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - 3\phi_{re})/\phi_{re} \leq 1,0$

Taulukossa esiintyvän mitan c_d arvot riippuvat myös tankojen muodosta ja betonipeitteestä. Arvojen määrittämiseen käytettävät mitat ovat kuvassa 19. Mitan arvoksi valitaan tangon muodosta riippuen joko yksi reunaetäisyyksistä c_1 ja c tai puolet tankojen jakovälistä a .

**Kuva 19.** Raudoituksen tartuntalujuuden laskentaan tarvittavia EN 1992-1-1 [34] mukaisia geometrisiä suureita

Suorille tangoille mitta c_d saadaan kaavalla

$$c_d = \min\left(\frac{a}{2}, c_1, c\right). \quad (4.57)$$

Taivutettujen ja koukkupäisten tankojen kohdalla mitta saa arvon kaavasta

$$c_d = \min\left(\frac{a}{2}, c\right) \quad (4.58)$$

ja lenkkipäisten tankojen tapauksessa mitta saadaan kaavalla

$$c_d = c. \quad (4.59)$$

4.1.9 Työsauman kestävyyslaskenta

Kuten luvussa 3.2 todetaan, tartuntalujuuutta jälkivaletulle kiinnikkeelle voidaan arvioida varauskolan työsauman leikkauskestävyyden avulla. Työsauman mitoittamiseen voidaan käyttää EN 1992-1-1:n kohtaa 6.2.5 *Leikkaus eri aikaan valettujen betonien rajapinnassa* [34]. Vaikka kohta nimensä mukaisesti on tarkoitettu kahden betonivalun työsauman mitoittamiseen, tässä työssä sitä sovelletaan myös betoni-teräs-rajapintaan. Siten tämän osion esiin tuoma teoria ei täysin vastaa standardien mukaista mitoittamista, vaan lisäohjeistusta ja -tutkimusta tarvittaisiin.

Eurokoodin EN1992-1-1 kohdan 6.2.5 mukaan betonipintojen välissä olevassa rajapinnassa leikkausjännityksen on täytettävä ehto

$$v_{Edi} \leq v_{Rdi}, \quad (4.60)$$

missä v_{Edi} on mitoitusarvo rajapinnassa vaikuttavalle leikkausjännitykselle ja v_{Rdi} on saman pinnan leikkauskestävyyden mitoitusarvo. Leikkausjännityskestävyys määritellään kaavalla

$$v_{Rdi} = cf_{ctd} + \mu\sigma_n + \rho f_{yd}(\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5vf_{cd}, \quad (4.61)$$

missä c ja μ ovat karheudesta riippuvia kertoimia, f_{ctd} on betonin vetolujuuden mitoitusarvo ja σ_n on leikkausvoiman kanssa samanaikaisesta ulkoisesta normaalivoimasta aiheutuva pienin mahdollinen normaalijännitys. Normaalijännityksen suuruus on rajattu arvoon $0,6f_{cd}$. Muuttuja ρ on rajapinnan läpikulkevan raudoituksen poikkipinta-alan ja koko rajapinnan pinta-alan suhde, α on ankkuroinnin kulma pintaan nähden, joka määritellään kuvassa 20 ja v on lujuuden pienennyskerroin. Ensimmäinen termi cf_{ctd} kaavassa (4.61) ottaa huomioon koheesion vaikutuksen rajapinnalla, toinen termi $\mu\sigma_n$ huomioi puristusvoimista aiheutuvan kitkan vaikutuksen ja kolmas termi $\rho f_{yd}(\mu \sin \alpha + \cos \alpha)$ kuvaa raudoituksen vaikutusta [49, kohta 6.3.4].

Mikäli rajapinnan läpi ei mene raudoitusta, sievenee työsauman leikkausjännityskestävyys muotoon

$$v_{Rdi} = cf_{ctd} + \mu\sigma_n \leq 0,5vf_{cd}. \quad (4.62)$$

Lujuuden pienennyskerroin ottaa huomioon leikkauksesta halkeilleen betonin lujuuden menetyksen. Pienennyskerroin lasketaan kaavalla

$$v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]. \quad (4.63)$$

Tämän perusteella halkeilemattoman betonin tapauksessa leikkausjännityskestävyys saadaan kaavalla

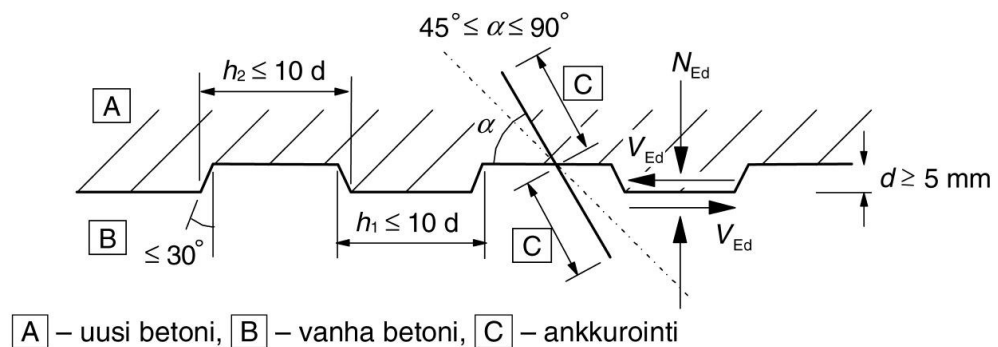
$$v_{Rdi} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n. \quad (4.64)$$

Rajapinnan karheuden aste voidaan jakaa neljään eri kategoriaan: hyvin sileä, sileä, karhea ja vaarnattu [34, kohta 6.2.5]. Karheuden asteesta riippuen c :n arvot vaihtelevat välillä 0,025...0,5 ja μ :n arvot välillä 0,5...0,9. Taulukossa 5 on esitetty eri karheusasteiden vaatimukset ja niitä vastaavat kertoimien arvot.

Taulukko 5. Betonipinnan karheusluokittelu EN1992-1-1 [34] mukaan

Pinta	Kuvaus	Kerroin c	Kerroin μ
Hyvin sileä	Valettu teräs-, muovi- tai erikoiskäsiteltyä puumuottia vasten	0,025 ...0,10	0,5
Sileä	Liukuvalettu pinta tai ekstruuderipinta tai tärytyksen jälkeen jälkikäsittelemättä jätetty vapaa pinta	0,20	0,6
Karhea	Vähintään 3 mm karheus n. 40 mm välein	0,40	0,7
Vaarnattu	Vaatii kuvan 20 mukaisen vaarnauksen	0,50	0,9

Hyvin sileä pinta on mahdollista toteuttaa käyttämällä teräksistä, muovista tai erikoiskäsiteltyä puumuottia. Sileä pinta vastaa esimerkiksi tärytyksen jälkeen käsittelemättömäksi jätettyä pintaa. Karhealle pinnalle on asetettu minimiarvot, joiden perusteella pinta voidaan luokitella. Viimeisenä listattu vaarnattu pinta määritellään hammastuksena, jonka geometriset raja-arvot on esitetty alla olevassa kuvassa 20. Mitta d on hammastuksen syvyys, h_1 on hammastuksen ulokkeellisen osan leveys viisteet mukaan lukien ja h_2 on syvennyksen vastaava leveys.



Kuva 20. Vaarnatun työsauman rajamitat EN 1992-1-1:n [32] mukaan

Pinnan karheuden sijoittaminen oikeaan kategoriaan jää suunnittelijan vastuulle, mutta esimerkiksi Santos [39] on esittänyt mittaus- ja määrittelytapoja karheuden määrittämisen helpottamiseksi. Näitä käsitellään luvussa 3.2. Eurokoodin päivityksen ns. työversio [50] ehdottaa myös lisämääritteitä sauman karheuden määrittämiseen.

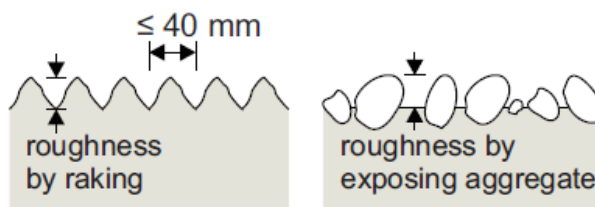
Eurokoodin päivityksen työversio [50, kohta 8.2.6] määrittelee pinnan karheuden viiteen luokkaan, kun tutkitaan tilannetta hyvin ankkuroituvalla leikkausraudoituksella tai ilman raudoitusta. Voimassa olevan standardin vaarnattu määritelmä on korvattu kahdella uudella määritelmällä: hyvin karhea ja hammastettu. Hammastettu määritelmä on

otettu mukaan huomioimaan erityisesti leikkaushammastuksen vaikutus [51, kohta 8.2.6(5)]. Alla olevassa taulukossa 6 on esitetty pinnan karheuden määrittely ja sitä vastaavat kertoimet.

Taulukko 6. Betonipinnan karheusluokittelu prEN1992-1-1 mukaan [51, muokattu]

Pinta	Kuvaus	Kerroin c	Kerroin μ
Hyvin sileä	Valettu teräs-, muovi- tai erikoiskäsiteltyä puumuottia vasten	0,025	0,5
Sileä	Liukuvalettu pinta tai ekstruuderipinta tai tärytyksen jälkeen jälkikäsittelemättä jätetty vapaa pinta	0,2	0,6
Karhea	Vähintään 3 mm karheus n. 40 mm välein, saavutetaan jyrsimällä pinta tai poistamalla sementtiliima pinnasta kuvan dr mukaisesti	0,4	0,7
Hyvin karhea	Vähintään 6 mm karheus n. 40 mm välein, saavutetaan jyrsimällä pinta tai poistamalla sementtiliima pinnasta kuvan 21 mukaisesti	0,5	0,9
Hammastettu	Vaatii hammastuksen	1,0	0,9

Karhealle ja hyvin karhealle pinnalle määritellään standardin työversiossa selkeyttävät valmistusmenetelmät minimimittojen lisäksi. Pinnat voidaan siis käsitellä joko jyrsimällä, tai niistä voidaan poistaa riittävästi sementtiliimaa karheuden aikaansaamiseksi. Molempia menetelmiä voidaan käyttää poratuissa tai muotitetuissa varauskoloissa. Karhealle, hyvin karhealle ja hammastetulle betonipinnalle annetaan työversiossa lisäksi havainnollistavat kuvat, jotka täydentävät yläpuolisen taulukon määritelmiä. Kuva 21 määrittelee karhean ja hyvin karhean betonipinnan. Hammastetun pinta on käytännössä samanlainen kuin voimassa olevan standardin vaarnattu pinta. Hammastuksen leveyksille h_1 ja h_2 on tosin asetettu alaraja arvoon $3d$ sekä niiden suhde on rajattu arvojen 0,5 ja 2,0 väliin. Hammastettu pinta vaatii valumuotin, eli sitä ei voida toteuttaa poraamalla. Esimerkiksi Robusta-Gaukelin muotit [10] vastaavat voimassa olevan vaarnatun pinnan ja työversion hammastetun pinnan geometriaa.



Kuva 21. Karhean ja hyvin karhean betonipinnan määrittely [51, kohta 8.2.6]. Vasemmalla jyrsimällä saavutettu pinta ja oikealla pinta, josta on poistettu sementtiliima.

Muottiputken jäädessä valuun, saumassa oleva teräs vaikuttaa käytettävien kertoimien arvoon. Mallinormissa MC2010 [49, kohta 6.4.2.3] määritellään adheesiosta johtuva leikkauskestävyys 0,1 MPa:n suuruiseksi teräksen ja betonin välillä. Mekaanisesta luki-

tuksesta johtuva leikkauskestävyys betonin ja kuvioidun teräksen välillä on määriteltä 0,8 MPa:n suuruiseksi. Kitkaan liittyvä kerroin μ voi mallinormin mukaan saada arvoja väliltä 0...0,6. Normi toteaa myös, että yleisesti kitkan avulla saavutettava kestävyys on noin 0,003 MPa. Toteamus ei kuitenkaan huomioi ulkoisen voiman aiheuttaman normaalijännityksen vaikutusta saumassa.

Koska mekaanisen lukituksen vaikutus alkaa vasta adheesio-vaikutuksen loputtua riittävän suurien siirtymien tapahduttua, saadaan mallinormin mukaiseksi vain koheesiosta riippuvaksi leikkauskestävyydeksi 0,8 MPa. Taulukossa 7 on esitetty pelkän koheesio-antamia ominaisleikkauskestävyyksiä eri betonilujuuksille ja pinnan laaduille.

Taulukko 7. Pelkästä koheesiosta tulevat leikkauskestävyyden ominaisarvot

Leikkauskestävyys (MPa)			
Betoni	Sileä pinta	Karhea pinta	Vaarnattu pinta
C30/37	0,40	0,80	1,00
C35/45	0,44	0,88	1,10
C40/50	0,50	1,00	1,25
C50/60	0,58	1,16	1,45

Pelkän koheesio-antama leikkauskestävyys karhealle C30/37 -lujuuden betonille on 0,80 MPa. Sileän C35/45 -lujuuden betonille kestävyys on 0,44 MPa ja karhealle 0,88 MPa. Sileälle C40/50 -lujuuden betonille on kestävyys 0,50 MPa, ja pinnan ollessa karhea on kestävyys 1,0 MPa. C50/60 -lujuuden betonille sileän pinnan kestävyys on 0,58 MPa ja karhean pinnan kestävyys on 1,16 MPa.

Siten voidaan arvioida, että muottiputken jäädessä valuun, kerroin c saisi arvon sileän karhean pinnan väliltä, esimerkiksi arvon 0,35. Arvo on looginen, sillä muottiputken käänteiden voidaan kuvitella muodostavan karheaa betonipintaa vastaavan pinnan. Kuitenkin betonin tartunta teräkseen ei ole yhtä hyvä kuin suoraan betoniin, joten kerroin ei voi olla yhtä suuri. Kertoimen todellisen arvon määrittämiseen tarvittaisiin kuitenkin tarkempaa tutkimusta.

Näin ollen muottiputken jäädessä valuun, saadaan sauman betoni-teräs-betonipinnan leikkauskestävyys (ilman leikkausraudoitusta) kaavalla

$$v_{Rdi} = 0,8 \text{ MPa} + \mu \sigma_n \leq 0,5 v_{fcd}. \quad (4.65)$$

4.2 Yhdysvaltalaiset standardit ja ohjeet

Tässä luvussa käsitellään yhdysvaltalaisia standardeja ja ohjeita, jotka koskevat jälkivaletun ankkurin mitoittamista. Merkittävin yhdysvaltalainen standardi on Amerikkalaisen betoni-instituutin (American Concrete Institute, ACI) julkaisema ACI318M-14 *Building Code Requirements for Structural Concrete* [8], joka käsittelee betonirakenteisiin liittyviä ohjeistuksia. Tämän lisäksi esimerkiksi prosessiteknologian osapuolten yhteenliit-

tymä (Process Industry Practices, PIP) on tehnyt oman harmonisoidun ohjeensa ankkuripulttien mitoittamiseen [52].

ACI-318M-14:n luvusta 17 löytyy ohjeistus betoniin asennettaville kiinnikkeille. Mitoitus on mahdollista tehdä tyssäkantaisille ankkureille, mutta sille on asetettu alkuehtoja, joiden voimassa olo tekee mitoituksesta pätevän. Ankkureiden ulosvetokestävyyden halkeilemattomassa betonissa on oltava vähintään arvon $1,4N_p$ suuruinen. Ulosvetokestävyyden N_p arvon määrittämistä ohjeistetaan tämän työn luvussa 4.2.2. Ohjeen kommenttien [8, kohta R17.13] mukaan tämä saavutetaan American Society of Engineers -yhdistyksen (ASME) julkaisujen B1.1, B18.2.1 ja B18.2.6 mukaisilla ankkurin mitoilla. Ohjetta voidaan käyttää myös jälkikiinnitettyjen ankkurien kestävyysien laskentaan, mutta silloin on varmistuttava, että ankkurin ulosvetokestävyys on raja-arvojen sisällä. Jälkivalettuja kiinnikkeitä ei ACI318M-4:ssäkään käsitellä suoraan, vaan ohjeissa käsitellään muun muassa paikalla valettuja, tyssäkantaisia ankkureita sekä tartunta-ankkureita.

ACI-standardissa [8, kohta 17.3.1] on määritelty vedossa olevalle ankkurille seitsemän murtotapaa, joiden mukaiset kestävyysarvot on tarkistettava. Murtotavat ovat kiinnikkeen teräsmurto, betonin kartiomurto, ulosvetomurto, reunan lohkeamismurto, halkeamismurto sekä yhdistetty ulosveto- ja kartiomurto. Tavat yhtenevät eurokoodeihin perustuvan mitoituksen kanssa.

Yhdysvaltalaisissa ohjeissa mitoituskestävyyden arvo perustuu ominaiskestävyyden kertomiseen kestävyysarvon pienentämiskertoimella. Seuraavissa luvuissa käsitellään ominaiskestävyydet. Ankkurointi on kestävä silloin, kun pienennyskertoimella kerrottu ominaiskestävyys on suurempi kuin ankkuriin kohdistuva mitoitusvoima. Koska tässä työssä ei ole tarkoituksena käydä läpi ACI-standardia kokonaan, mitoitusvoimien laskenta jätetään työn ulkopuolelle. Voidaan kuitenkin todeta, että voimien laskenta tehtäisiin ACI-318M-14 luvun 5 mukaisesti.

Pitkäaikaiskuormien vaikutuksen alaisena oleville tartunta-ankkureille on lisäksi asetettu ehto, joka niiden on täytettävä. Tällä ehdolla huomioidaan hartsipohjaisten jälkivalumassojen käyttäytyminen pitkän ajan kuluessa [8, kohta R17.3.1.2]. Ehto vastaa siis eurokoodissa olevaa kerrointa ψ_{sus} , joten se voidaan sementtipohjaisia jälkivalumassoja käsitellessä jättää huomiotta.

Alla taulukossa 8 on esitetty kriittiset etäisyydet muihin ankkureihin, joiden täytyessä ankkuri voidaan mitoittaa yksittäisenä [8, kohta 17.2.1.1]. Jos etäisyydet jäävät tästä pienemmiksi, on ankkurointi mitoittettava ryhmänä. Koska tämä työ keskittyy yksittäisen ankkurin mitoitukseen, oletetaan kriittisten etäisyyksien täyttyvän.

Taulukko 8. *ACI-318M-14:n [8] mukaiset kriittiset etäisyydet*

Tarkasteltava murtotapa	Kriittinen jakoväli s_{cr}
Kartiomurto	$3h_{ef}$
Yhdistetty kartio- ja ulosvetomurto	$2c_{Na}$

Taulukossa h_{ef} on tehollinen korkeus ja c_{Na} on projisoitu etäisyys tartunta-ankkurin keskeltä murtokartion reunalle, kun ankkuri on saavuttanut täyden tartunnan. Eurokoodissa etäisyyttä kutsutaan ominaisreunaetäisyydeksi $c_{cr,Np}$. Tässä työssä käytetään samaa nimitystä myös muuttujalle c_{Na} , mutta kuten luvussa 4.2.5 todetaan, arvot eivät laskennallisesti tarkkaan ottaen vastaa toisiaan.

4.2.1 Kartiomurtokestävyys

Kartiomurtokestävyys määritellään ACI-318M-14:n luvussa 17.4.2. Jotta alla esitettävät kaavat ovat voimassa, ei ankkurin halkaisija saa olla 100 mm suurempi [8, kohta 17.3.2.2]. Kartiomurtokestävyuden ominaisarvo saadaan kaavalla

$$N_{Rk,c} = \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_{Rk,c}^0, \quad (4.66)$$

missä suhde $A_{c,N}/A_{c,N}^0$ määritellään eurokoodin tavoin tämän työn luvun 4.1.1 kaavoilla, kerroin $\psi_{s,N}$ huomioi reunavaikutuksen, $\psi_{c,N}$ on betonin halkeiluun liittyvät kerroin, $\psi_{cp,N}$ on kiila-ankkureihin liittyvä kerroin ja $N_{Rk,c}^0$ on yksittäisen kiinnikkeen kartiomurtokestävyys ilman reuna- ja ryhmävaikutuksia. Pinta-alojen laskennassa on kuitenkin oleellista huomata, että ACI-standardi perustaa niiden laskennan teholliseen korkeuteen [8, kuva R17.4.2.1]. Ominaisreunaetäisyyden määrittämiseen kiinnikekohtaisella arvolla ei siis anneta mahdollisuutta, toisin kuin eurokoodissa ETPS:n mukaisilla arvoilla. Reunavaikutuksen huomioiva kerroin $\psi_{s,N}$ voidaan laskea kaavalla (4.12), sillä se vastaa eurokoodin reunavaikutuskerrointa. Halkeiluun ja kiila-ankkureihin liittyviä kertoimia taas ei voida laskea eurokoodin kaavojen mukaisesti, koska siellä ilmiöitä ei ole huomioitu erillisillä kertoimilla.

Halkeamattomassa betonissa kerroin $\psi_{c,N}$ saa arvon 1,25 tyssäkantisella ankkurilla ja arvon 1,4 jälkiasennetulla ankkurilla. Halkeilleessa betonissa molempien ankkurityyppien kohdalla kertoimen arvo on 1,0. Kiila-ankkureita koskevalle kertoimelle $\psi_{cp,N}$ on annettu kohdassa 17.4.2.7 arvoksi 1,0 kaikkien muille kuin kiila-ankkureille. Tarkempaa laskentaa ei siis käydä läpi tässä työssä. Siten ominaiskestävyyden arvo sievenee muotoon

$$N_{Rk,c} = \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{c,N} N_{Rk,c}^0. \quad (4.67)$$

Yksittäisen kiinnikkeen kartiomurtokestävyys ilman reuna- ja ryhmävaikutuksia saadaan ACI-318M-14:n tapauksessa kaavalla

$$N_{Rk,c}^0 = k_c \lambda_a \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1,5}, \quad (4.68)$$

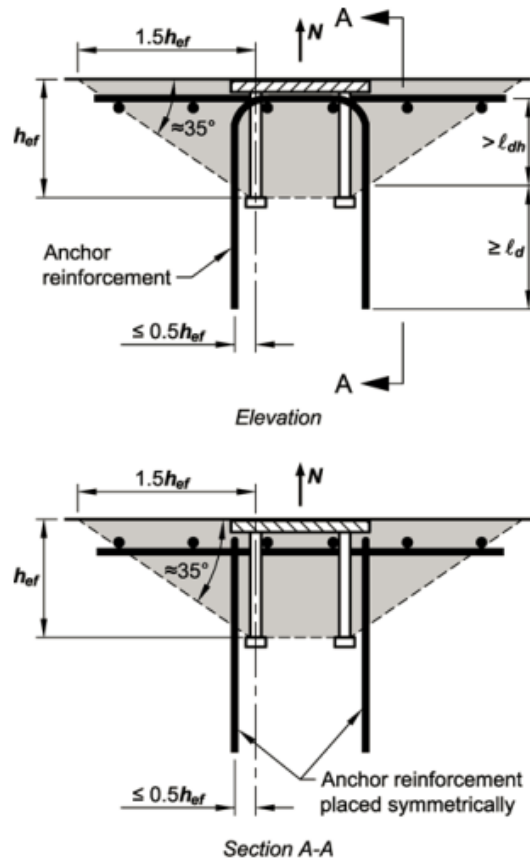
jossa kerroin k_c ottaa huomioon ankkurityypin ja kerroin λ_a liittyy tilanteeseen, jossa perusvalussa on käytetty kevytbetonia. Paikallavalukiinnikkeillä kertoimen k_c arvo on 10 ja jälkiasennettujen kiinnikkeiden kohdalla arvo on 17. Kerroin λ_a voidaan jättää tässä työssä huomiotta, koska kevytbetonit ovat aiheen rajauksen ulkopuolella. Siten kestävyys kaava sievenee muotoon

$$N_{Rk,c}^0 = k_c \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1,5}. \quad (4.69)$$

Jos ankkurin tehollinen korkeus on suurempi, voi kaavan (4.68) käyttö johtaa liian konservatiivisiin tuloksiin. Siten tyssäkantaisille ankkureille, joiden tehollinen korkeus on välillä 280...635 mm, yksittäisen kiinnikkeen kestävyys (kun kevytbetonia ei käytetä perusvalussa) on rajattu arvoon

$$N_{Rk,c}^0 = 3,9 \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1,5}. \quad (4.70)$$

Kartiomurtoa ei kuitenkaan tarvitse tarkistaa, jos kiinnikkeelle käytetään ankkurointi-raudoitusta. Tällöin kartiomurtokestävyyden tilalla käytetään raudoituksen kestävyys arvoa. [8, kohta 17.3.2.1 ja 17.4.2.9] Kuva 22 esittää tavan, millä ankkurointiraudoitus on aseteltava, jotta sitä voidaan käyttää mitoituksessa. Tilanne vastaa eurokoodin ohjeistusta, jossa raudoite ankkuroidaan murtokartion alapuolelle ankkurointipituuden l_d verran, ja itse murtokartioon pituuden l_{dh} verran. Lisäksi raudoitteet on asennettava symmetrisesti kiinnikkeen ympärille.



Kuva 22. ACI-318M-14:n [8] mukainen ankkurointiraudoitus, jota käyttämällä voidaan korvata kartiomurtokestävyys

ACI-standardin luvussa 18.8.5 määritellään ankkurointipituudet l_d ja l_{dh} . Pituudet saadaan kaavoista

$$l_{dh} = \frac{f_{yk, re} \Phi_{re}}{5,4 \sqrt{f_{ck}}} \quad (4.71)$$

ja

$$l_d = \begin{cases} 2,5 l_{dh} , & \text{kun raudoitteen alla on alle 300 mm paksu valu} \\ 3,25 l_{dh} , & \text{kun raudoitteen alla on yli 300 mm paksu valu} \end{cases} \quad (4.72)$$

4.2.2 Ulosvetomurtokestävyys

ACI-318M-14-ohjeen kohdan 17.4.3 mukaan ulosvetokestävyyden laskenta koskee vain tyssäkantaisia paikallavalu- sekä kiila-ankkureita. Tartunta-ankkurille tätä ei huomioida, sillä niiden murtuminen yhdistää ulosvetomurron sekä kartiomurron. Tähän liittyvän kestävyyslaskenta käydään läpi luvussa 4.2.5.

Ulosvetokestävyyden ominaisarvo saadaan paikalla valetulle ja tyssäkantaiselle ankkurille kaavalla

$$N_{Rk,p} = \psi_{c,p} N_p, \quad (4.73)$$

jossa $\psi_{c,p}$ on betonin halkeiluun liittyvä kerroin ja N_p on 5 %:n fraktaalien perusteella testituloksista laskettu ulosvetokestävyyden. Tämä arvo ei kuitenkaan saa ylittää alla esitettyä ehtoa, joka on muotoa

$$N_p = 8A_h f_{ck}, \quad (4.74)$$

missä A_h on kannan voimia siirtävä pinta-ala. Kerroin $\psi_{c,p}$ on halkeamattomassa betonissa 1,4 ja halkeilleessa betonissa 1,0.

4.2.3 Lohkeamismurtokestävyys

Ohjeen ACI-318M-14 kohdan 17.4.4 mukaan lohkeamismurtokestävyys määritetään vain tyssäkantaisille kiinnikkeille. Lohkeamismurtokestävyyden ominaisarvo saadaan kaavalla

$$N_{Rk,cb} = 13c_e \sqrt{A_h} \sqrt{f_{ck}}, \quad (4.75)$$

jossa c_e on ankkurointiliitoksen pienin reunaetäisyys. Kaavasta on valmiiksi jätetty pois kevytbetoneille tarkoitettu kerroin λ_a . Kaava eroaa huomattavasti eurokoodien mukaisesta lohkeamismurtokestävyyden määrittämisestä. Esimerkiksi projektioaloja ei huomioida, eikä myöskään kiinnikkeen asennussyvyyden vaikutusta. ACI-standardissa sanotaan vain, että kiinnikkeen on oltava syvällä perusvalussa. Miltenbergerin luvussa 3.1.3 esittämän arvon kanssa tämä kestävyys taas on hyvin samanlainen.

Lohkeamismurtokestävyyttä ei tarvitse laskea, jos kiinnike on riittävän kaukana reunasta. Tämä toteutuu, kun liitoksen pienin reunaetäisyys $c_e > 0,4h_{ef}$. Arvo on vastaa melkein eurokoodissa tehtyä määritelmää, jossa tehollista korkeutta kerrotaan arvolla 0,5.

4.2.4 Halkeamismurtokestävyys

ACI-318M-14-standardin [8, kohta 17.7] mukaan halkeamismurto on mahdollista tapahtua asennusvaiheen aikana kiila-ankkureita kiristettäessä tai myöhemmin ankkurin muttereita kiristettäessä, kun kyseessä ovat paikalla valetut ankkurit. Kuormituksen aiheuttamaa halkeamista ei huomioida. Halkeamismurto voidaan estää lisäraudoituksella tai valitsemalla suunnitteluvaiheessa sopivat etäisyydet.

Ensisijainen etäisyyksien määrittäminen pitäisi tapahtua testien perusteella, mutta ohjeessa annetaan myös minimietäisyyksiä tilanteille, joissa testejä ei ole tehty. Taulukossa 9 on esitetty ohjeessa annetut minimietäisyydet c_{min} koskien reunaetäisyyksiä. Taulukossa esiintyvä muuttuja d_h tarkoittaa ankkurin halkaisijaa ja d_g viittaa betonissa käytettävän kiviaineen maksimihalkaisijaan.

Taulukko 9. *ACI-318M-14:n [8]mukaiset tyssäkantaisien ankkureiden ja tartunta-ankkureiden halkeamismurron estävät minimietäisyydet*

Tyssäkantaiset ankkurit	
Tilanne	Minimireunaetäisyys c_{min}
Ei kohdistu kiristysmomenttia	Suojabetonin paksuus
Kohdistuu kiristysmomentti	d_h
Jälkiasennettavat tartunta-ankkurit	
Tilanne	Minimireunaetäisyys c_{min}
Ei kohdistu kiristysmomenttia tai halkaisuvoimia	Seuraavan kappaleen mukaisesti
Ei kohdistu kiristysmomenttia, kohdistuu halkaisuvoimia	$\max(\text{betonin suojapaksuus}, 6d_h) \geq 2d_g$
Kohdistuu kiristysvoimia, ei kohdistu halkaisuvoimia	$\max(\text{betonin suojapaksuus}, 6d_h) \geq 2d_g$
Kohdistuu kiristysvoimia ja halkaisuvoimia	$\max(\text{betonin suojapaksuus}, 6d_h) \geq 2d_g$

Jos taulukossa 9 olevat vaatimukset eivät täyty, ja minimireunaetäisyydet jäävät pienemmiksi, täytyy ankkurille määritellä uusi nimellinen halkaisija d'_h [8, kohta 17.7.4], joka täyttää minimietäisyydet. Jos nimellistä halkaisijaa käytetään, myös ankkurin kestävyys määräytyy tämän uuden halkaisijan mukaan. Tämä koskee ankkureita, joihin ei kohdistu asennettaessa halkaisuvoimia eikä kiristysmomentteja.

Lisäksi ohjeessa annetaan ohjeellinen arvo tartunta-ankkurien ominaisreunaetäisyydelle, jos sitä ei voida testein todeta. Jotta halkeamismurto estetään, on ominaisreunaetäisyyden oltava $c_{cr,N} = 2h_{ef}$ [8, kohta 17.7.6]. Tätä arvoa voidaan käyttää muun muassa kartiomurtokestävyyden laskennassa.

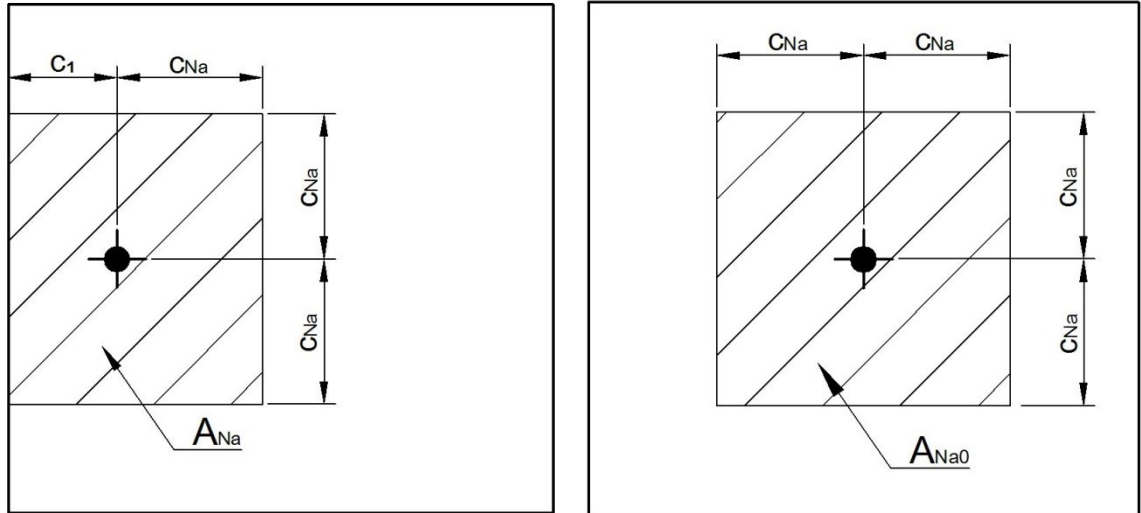
4.2.5 Yhdistetty ulosveto- ja kartiomurtokestävyys

Standardin ACI-318M-14 mukaan yhdistetty kartio- ja ulosvetokestävyys (tässä engl. bond strength) voidaan määritellä ainoastaan tartunta-ankkureille. Mitoitus on rajattu koskemaan vain tartunta-ankkureita, joiden tehollinen korkeus on $4d_h \leq h_{ef} \leq 20d_h$ [8, kohta 17.3.2.3]. Ominaiskestävyys lasketaan yksittäiselle ankkurille kaavasta

$$N_{Rk,pc} = \frac{A_{Na}}{A_{Na0}} \psi_{ed,Na} \psi_{cp,Na} N_{Rk,p}^0, \quad (4.76)$$

jossa A_{Na} on kiinnikkeen projisoitu vaikutusala, A_{Na0} on yhden kiinnikkeen projisoitu vaikutusala, kun reunaetäisyydet ovat suurempia kuin ominaisreunaetäisyys c_{Na} . Kerroin $\psi_{ed,Na}$ ottaa huomioon perusvalun reunavaikutuksen, kerroin $\psi_{cp,Na}$ huomioi perusvalun halkeilemisen ja $N_{Rk,p}^0$ on yhden kiinnikkeen ominaiskestävyys ilman vierekkäisten kiinnikkeiden tai reunojen vaikutusta. Tämä kestävyys voidaan laskea samoin kuin eurokoodissa, kaavalla (4.24), kun perusvalu ei ole tehty kevytbetonista. Muiden kaavan termien laskeminen poikkeaa hieman eurokoodin vastaavien termien laskennasta.

Yhden kiinnikkeen projisoitu vaikutusala lasketaan suorakulmaisesta suunnikkaasta, jonka sivut ovat joko kaksinkertaisen ominaisreunaetäisyyden pituisia tai lyhyempiä todellisen reunaetäisyyden rajoittaessa pituutta. Alla olevassa kuvassa 23 on esitetty molemmista projisoiduista aloista esimerkki. A_{Na} on piirretty tilanteessa, jossa yksi reunaetäisyyksistä c_1 on pienempi kuin ominaisarvo c_{Na} . Kuvassa viivoitetut alueet kuvastavat projisoituja pinta-aloja.



Kuva 23. Projisoidut pinta-alat yksittäiselle ankkurille

Täten kuvassa esiintyvät pinta-alat saadaan kaavoilla

$$A_{Na} = (c_1 + c_{Na})2c_{Na}^2 \quad (4.77)$$

ja

$$A_{Na0} = (2c_{Na})^2. \quad (4.78)$$

Ominaisreunaetäisyydelle tartunta-ankkureille määritellään standardin mukaan kaavalla

$$c_{Na} = 10d_h \sqrt{\frac{\tau_{Rk,ucr}}{7,6}}, \quad (4.79)$$

jossa $\tau_{Rk,ucr}$ on kiinnikkeen tartunta-lujuuden arvo halkeilemattomassa betonissa.

Reunavaikutuksen huomioiva kerroin saadaan laskettua kaavalla

$$\psi_{ed,Na} = 0,7 + 0,3 \frac{c_e}{c_{Na}} \leq 1. \quad (4.80)$$

Perusvalun halkeilemisen huomioiva kerroin $\psi_{cp,Na}$ lasketaan joko kaavalla (4.81) tai (4.82). Halkeamattomassa betonissa ja ilman halkeamismurron estäviä raudotteita, kertoimen arvo lasketaan kaavalla

$$\frac{c_{Na}}{c_{cr,N}} \leq \psi_{cp,Na} = \frac{c_e}{c_{cr,N}} \leq 1,0, \quad (4.81)$$

jossa $c_{cr,N}$ on kartiomurrossa käytettävä ominaisreunaetäisyys. Kaikissa muissa tilanteissa kertoimen arvo on muotoa

$$\psi_{cp,Na} = 1. \quad (4.82)$$

Vaikka yhden kiinnikkeen ominaiskestävyys $N_{Rk,p}^0$ voidaan laskea eurokoodin mukaisesti kaavalla (4.25), antaa ACI-318M-14 kuitenkin ohjeita kaavassa käytettävän tartuntalujuuden τ_{Rk} arvoille. Alla olevassa taulukossa 10 esitettäviä arvoja voidaan käyttää, jos seuraavat ehdot toteutuvat: kiinnike vastaa testiohjeen ACI 355.4 arvoja, kiinnikkeelle porataan reikä kairalla tai kiviporalla, kiinnikkeen asennusajanhetkellä betonin puristuslujuus on vähintään 17 MPa ja betoni on vähintään 21 päivän ikäistä sekä betonin lämpötila on vähintään 10 °C.

Taulukko 10. *Tartuntalujuuden minimiarvot tartunta-ankkureille standardin ACI-318M-14 mukaan [8]*

Ympäristö	Betonin vesipitoisuus asennushetkellä	Käyttöajan maksimilämpötila betonille (°C)	$\tau_{Rk,cr}$ (MPa)	$\tau_{Rk,ucr}$ (MPa)
Ulkotilat	Kuivasta täysin kyllästyneeseen	79	1,4	4,5
Sisätilat	Kuiva	43	2,1	7,0

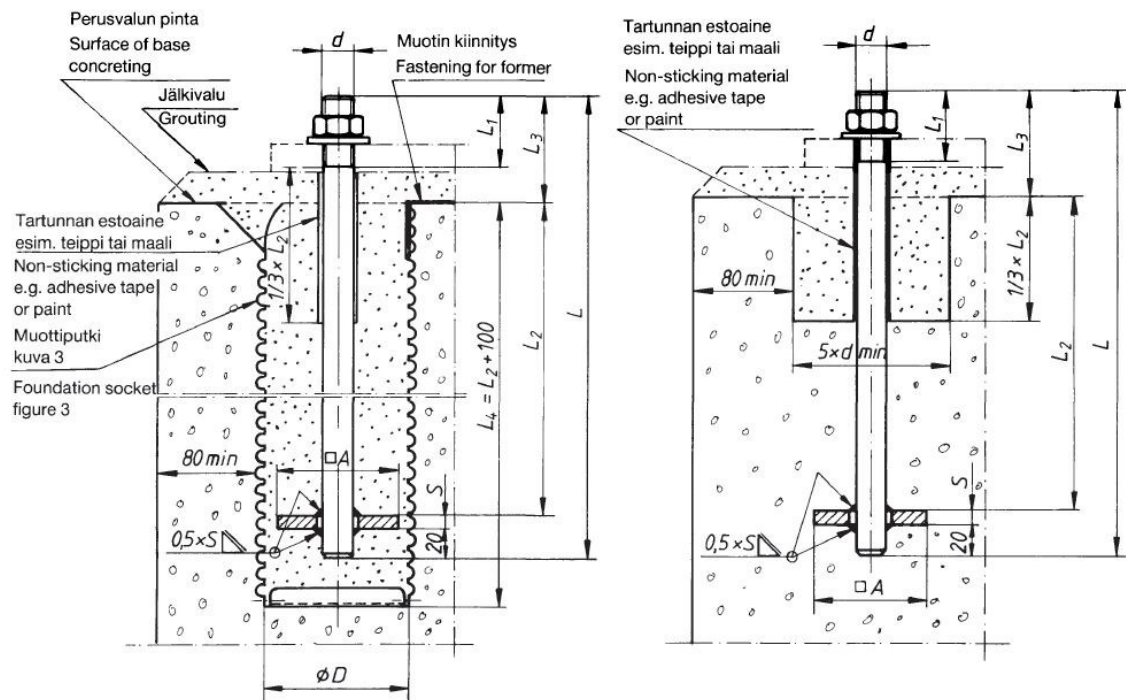
Taulukossa oleviin tartuntalujuuksiin vaikuttavat perusvalun vesipitoisuus, lämpötila sekä halkeileminen. Halkeilemassa betonissa valitaan arvo sarakkeesta $\tau_{Rk,cr}$ ja kiinnikkeen sijaitessa halkeamattomassa betonissa käytetään arvoa sarakkeesta $\tau_{Rk,ucr}$. Taulukosta huomataan, että vedelle alttius, korkeat käyttölämpötilat ja betonin halkeilu heikentävät kiinnikkeen tartuntalujuutta. Tartuntalujuudet on kuitenkin määritelty vain ankkureille, jotka kiinnitetään hartsipohjaisella massalla [8, kohta 2.3]. Tätä tukee myös yläpuolisen taulukon mukainen lujuuden huomattava pieneneminen lämpötilan noustessa.

4.3 Suomen kansalliset standardit

Ohjekoodeihin perustuvan mitoittamisen lisäksi liitoksia ja ankkurointeja voidaan mitoitaa kansallisten standardien avulla. Suomessa standardeja julkaisee Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

Standardit SFS 4632–4634 käsittelevät varauskolollisia ankkurointeja. Ankkuroinnin mitoitus tapahtuu kaikissa taulukkomitoituksella, kunhan vain kaikki reunaehdot täyttyvät. SFS 4632 koskee tässäkin työssä käsiteltävää varauskoloankkurointia, jossa valumuottina käytetään poimutettua teräsputkea. Kyseessä on laiteperustuksiin sopiva tyyppi-

piä A oleva perustusruuvi. Ruuvilla on kaksi mahdollista asennustapaa, ja ne esitetään kuvassa 24. Asennuksessa voidaan käyttää poimutettua muottiputkea, mutta sen poisjättäminen on myös mahdollista. [1] Tällöin kiinnikeruuvi asennetaan suoraan valuun.



Kuva 24. SFS 4632 mukaiset A-tyypin perustusruuvien asennustavat

Perustusruuvi A mitoitetaan taulukkomitoituksella. Taulukossa 11 listataan kuvassa 24 esitetyt mitat L , L_1 , minimiarvo mitalle L_2 , A ja S , suurimmat sallitut vaihtoehtoiset aksiaaliset kuormitukset ja esikiristykset sekä muottiputken halkaisija D . Mitat on määritellyt yleisimmille pulttiko'ille M10, M12, M16, M20, M24, M30, M36, M42, M48 ja M56. Kokojen M10–M30 kohdalla kaikki mitat on ilmoitettu, mutta pulttien kokonaispituutta ei ole määritetty kokojen M36–M56 kohdalla. Koska pituus on jätetty suunnittelijan määriteltäväksi, on suurimpien pulttien mittatiedot tämän standardin mukaan hieman vajavaisia. SFS 4632:n mukainen mitoitus-taulukko on esitetty alla taulukossa 11.

Taulukko 11. SFS 4632 mukainen mitoitus perustusruuville staattisessa kuormituksessa [1, muokattu]

Ruuvi						Suurin sallittu aksiaaliuormitus	Suurin sallittu esiki- ristys		Muotti- putki
koko	L (mm)	L_1 (mm)	L_{2min} (mm)	A (mm)	S (mm)	F_{staat} (kN)	Momentti M_e (Nm)	Voima F_e (kN)	D (mm)
M10	220 280	40	100	50	12	8,9	21,3	11,6	100
M12	250 350	50	120	60	12	13,1	35,4	16,9	125
M16	300 400	60	170	70	14	24,3	89,8	31,4	160
M20	350 450 550	70	220	80	14	35,5	174,5	49,0	160
M24	400 500 600	80	260	100	20	51,1	301,9	70,6	200
M30	500 600 700	120	310	120	25	81,3	559,2	112,2	≥ 210
M36	Määri- tetään	120	400	140	30	118,0	1048	163,4	≥ 250
M42	piirus- tuk- sessa	140	450	170	35	152,0	1695	226,8	≥ 290
M48		160	550	200	35	199,1	2486	290,4	≥ 340
M56		180	640	220	40	274,3	3949	406,4	≥ 380

Jotta taulukko olisi pätevä, on standardissa asetettu vaatimuksia käytettäville materiaaleille. Ruuvien materiaaliksi on ohjeistettu Fe 510 C standardin SFS-EN 10 025 mukaan, ja tartuntalevyn materiaali on Fe 360 B samasta standardista. Materiaalimerkinnot koskevat kuitenkin vuoden 1993 SFS-EN 10 025 -standardia, ja merkinnot ovat vanhentuneet. Päivitetyin standardin [53, 54] mukainen uusimerkintä ruuveille on S355JO ja tartuntalevyille S235JR. Mutteri on määritelty standardien SFS-ISO 4032 EN 24032 ja SFS-ISO 898-2 mukaisella geometrialla ja materiaaleilla ja se kuuluu lujuusluokkaan 8. Aluslaatta noudattaa standardia SFS-ISO 887.

Perusvalun materiaaliksi on ohjeistettu K30-lujuusluokan mukainen betoni. Jälkivalussa käytetään taas lujuusluokan K40 betonia. Nykymerkinnöillä nämä vastaavat parhaiten lujuusluokkia C25/30 ja C30/37, kun huomioidaan yleisesti käytössä olevat luokat [55, s. 30].

4.4 Tuotekohtaiset hyväksynnät

Edellä esiteltyjen tapojen lisäksi ankkuroinnin kestävyys on mahdollista todentaa tuotekohtaisella hyväksynnällä. Tuotekohtainen hyväksyntä voidaan todentaa EU-tasolla käyttämällä CE-merkintää, mutta myös maakohtaiset hyväksynnät ovat mahdollisia. CE-merkintää varten tarvitaan tuotteelle suoritustasoilmoitus (engl. declaration of performance, DoP), joka todistaa tuotteen täyttävän sille asetetut vaatimukset. Vaatimukset ovat yleensä EN-standardeihin perustuvia.

Suomessa käytettävillä Spiralo-muottiputkilla ei ole tuotekohtaista hyväksyntää, vaan niiden käyttö perustuu standardiin SFS 4632. Saksassa käytössä olevat Robusta-Gaukelin muottiputkilla taas on saksalainen tuotehyväksyntä, abZ [2].

Myös muiden kuin rakennebetonista tehtyjen jälkivalumassojen täytyy olla CE-merkittyjä, jotta sitä voidaan käyttää ankkuroinnissa. Suomessa massan on tällöin täytettävä standardin EN 1504-3 vaatimukset. Lisäksi näille jälkivalumassoille on mahdollista määrittää standardin EN 1504-6 mukaiset ominaisuudet. Standardin EN 1504-3 mukaisten testien perusteella on mahdollista tehdä jälkivalumassalle suoritustasoilmoitus, jossa ilmoitetaan massan rakenteelliseen toimintaan liittyviä ominaisuuksia. Massoille voidaan ilmoittaa esimerkiksi puristuslujuus sekä tartuntalujuus [29, taulukko 3].

Standardin EN 1504-3 mukainen tartuntalujuus määritellään vetotestillä, jossa perusvaluna on standardin EN 1766 mukainen betonikappale. Vetokoe tehdään standardin EN 1542 mukaan. Testiä varten betonikappaleen pinta karhennetaan suihkupuhaltaamalla [56, kohta 3 ja 4.4]. Karhennus ohjeistetaan tekemään ”...kunnes suurimpien kiviainesrakeiden kärjet ovat paljastuneet merkittävästi” [56, kohta 7.1]. Tämän voidaan tulkita tarkoittavan voimassa olevan eurokoodin määritelmää karheasta pinnasta (ks. taulukko 5). Testikappaleen päälle valetaan testattava jälkivalumassa, ja ulosvetomurtuman aiheuttavien kuormitusten perusteella määritellään tuotteen tartuntalujuus. Rakenteellinen jälkivalumassa voidaan jakaa standardissa kahteen luokkaan: R4 ja R3 [29, taulukko 3]. Luokassa R3 tuotteen vaadittu tartuntalujuus on 1,5 MPa ja vaativammassa luokassa R4 vaadittu lujuus on 2,0 MPa. Myös puristuslujuudelle on asetettu standardissa vaatimukset. R3-luokassa vaadittu lujuus on 25 MPa ja R4-luokassa 45 MPa. Puristuslujuus määritetään erilliselle testikappaleelle, joten arvo ei täysin vastaa betonin lieriö- tai kuutiolujuutta [57, 58]. Arvon voidaan kuitenkin olettaa vastaavan riittävän tarkasti näitä lujuuksia, jotta sitä voidaan käyttää laskennassa lieriölujuuden tilalla.

Standardin EN 1542 [59] mukaan tuotteelle määritetty tartuntalujuus on nimellinen. Voidaan siis olettaa, että vetokokeella saatuja tartuntalujuudet vastaavan standardin EN 1992-4 mukaisia tartuntalujuuksia.

Siten jälkivalutuotteille määriteltyjä EN 1504-3:n mukaisia tartuntalujuuksia voidaan käyttää suunnittelussa, kunhan varmistetaan varauskolon seinämien riittävä karheus

standardin EN 1766 mukaisesti. Koloja tehdessä on kuitenkin valumuotti poistettava ennen jälkivalua, sillä tartunta-arvot koskevat betonipinnalle valettuja jälkivalumassoja.

5. LIITOKSEN OMINAISUUKSIEN VAIKUTUS KESTÄVYYTEEN

Tässä luvussa selvitetään ankkurointiliitoksen toteutuksen vaikutus kiinnikkeen kestävyteen. Edellisten lukujen teorian pohjalta arvioidaan eurokoodin soveltuvuutta varauskollisten ankkureiden mitoitusmenetelmäksi. Koska mitoituksessa tavoitellaan sitkeää murtotapaa, teräsmurtokestävyys on oltava pienin liitoksen kestävyyksistä.

Liitoksen vaikutusta kestävyteen arvioidaan kahdelle erilaiselle ankkurointityypille, jotka molemmat soveltuvat teollisuusrakentamiseen. Liitoksessa tutkitaan varauskolon toteutusmenetelmän, jälkivalumassan sekä raudoituksen vaikutusta lopulliseen kestävyteen. Tämän perusteella määritetään lopullinen korkeus varauskololle. Laskenta suoritetaan halkeilleelle betonille. Näin saadaan konservatiivisimmat tulokset, jotka sopivat mahdollisimman moneen tapaukseen.

5.1 Eurokoodin soveltuvuus mitoitusmenetelmäksi

Tässä luvussa selvitetään eurokoodin soveltuvuus varauskollisen ankkuroinnin mitoitusmenetelmäksi vertaamalla muilla menetelmillä saatavia ominaiskestävyksiä keskenään. Ominaiskestävyydet lasketaan erikseen jokaiselle murtotavalle. Jotta eurokoodin mukainen menetelmä soveltuu mitoitukseen, täytyy sen tuottaa konservatiivisimmat tulokset ominaiskestävyyksille. Raudoituksen vaikutusta ei huomioida kestävyyksien laskennassa, ja sitä kautta menetelmien arvioinnissa.

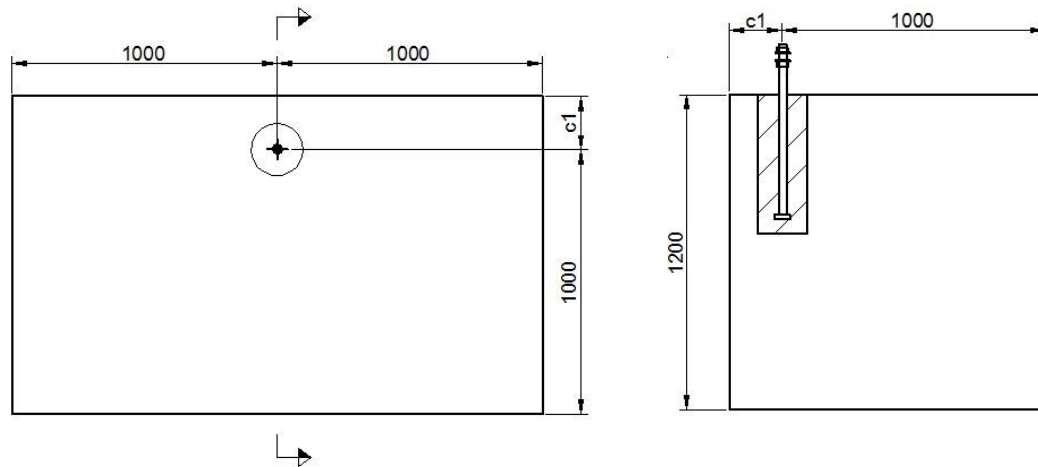
Vertailuun käytettäväksi menetelmiksi valittiin ACI-standardin mukainen menetelmä (luku 4.2) sekä Miltenbergerin ehdottama menetelmä (luku 3.1.3). Tutkimustiedon mukaisista menetelmistä vertailuun valittiin Miltenbergerin menetelmä, koska se huomioi kaikki jälkivaletun ankkurin murtotavat sekä antoi niihin konservatiivisimmat tulokset.

Laskentaa varten määriteltiin teoreettinen koetilanne, jonka mukaista ankkurointia arvioidtiin eri murtotapojen suhteen. Alla oleva kuva 25 havainnollistaa ankkuroinnin geometriaa. Ankkuri sijoitettiin perusvaluun siten, että reunaetäisyys kolmelta sivulta oli 1000 mm:ä. Neljännen sivun reunaetäisyys määräytyi varauskolon tehollisen korkeuden h_{ef} ja varauskolon halkaisijan d_0 suhteen kaavalla

$$c_1 = 0,5(h_{ef} + d_0). \quad (5.1)$$

Perusvalun paksuudeksi h valittiin 1200 mm ja siinä sekä jälkivalussa käytettävän betonin lujuusluokaksi C30/37. Muottiputkea ei jätetty valuun, vaan se poistettiin ennen

ankkurin asennusta ja jälkivalua. Muottipinta karhennettiin siten, että rajapinnalle voitiin käyttää kertoimia $c = 0,4$ ja $\mu = 0,7$.



Kuva 25. Mitoitusmenetelmien vertailuun käytetty teoreettinen koetilanne

Käytettävä ankkuri valittiin SFS 4632 -standardin mukaan. Mitoitustapoja tutkittiin taulukkoa 12 vastaaville pulteille. Mitta L_2 vastasi tehollista korkeutta ja tyssäkannan mitat määräytyivät muuttujan A perusteella. Varaukset halkaisijaa määritettiin ankkurilevyn pituuden perusteella. Zamora *et al.* [5, s. 223] sekä Burtz [35, s. 7] määrittivät jälkivaletuiksi ankkureiksi sellaiset, joiden kolon halkaisija oli 1,5-kertainen ankkurin paksuuteen nähden. Kokeessa käytettävät ankkurilevyt olivat kuitenkin ankkurin halkaisijaa suurempia, joten varaukset halkaisija määritettiin kaavalla

$$d_0 = 1,5A. \quad (5.2)$$

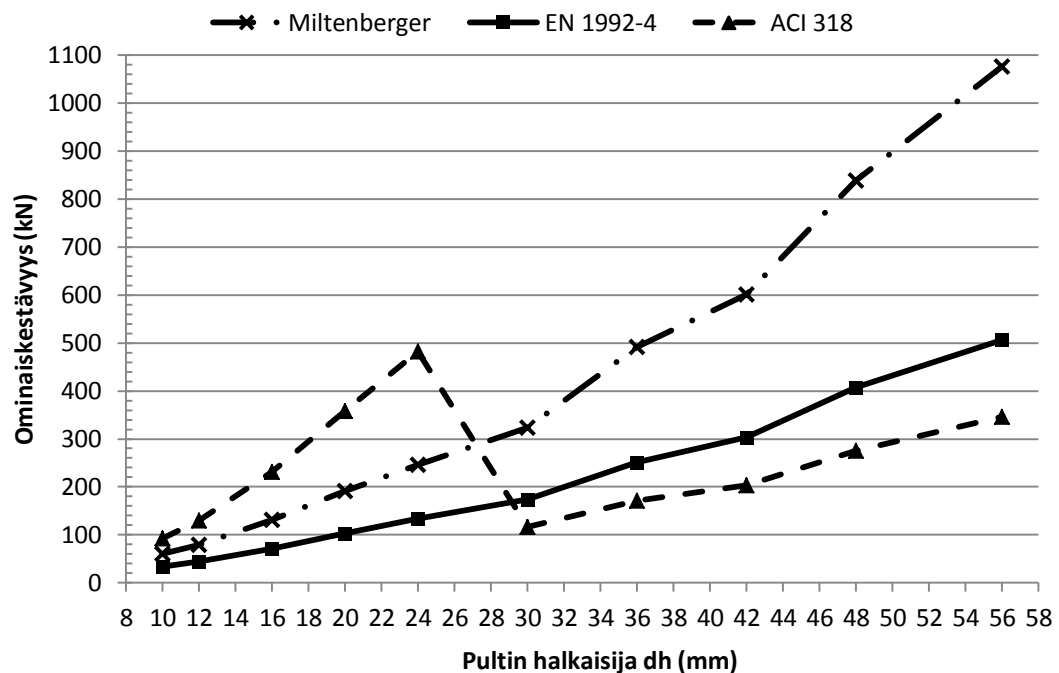
Tutkittavan ankkuroinnin mitat olivat siten seuraavan taulukon 12 mukaiset.

Taulukko 12. Teoreettisessa koetilanteessa käytetyt ankkuroinnin arvot

Ankkurin koko	Tehollinen korkeus h_{ef} (mm)	Ankkurilevyn pituus A (mm)	Varaukset halkaisija d_0 (mm)	Reunaetäisyys c_1 (mm)
M10	100	50	75	87,5
M12	120	60	90	105
M16	170	70	105	137,5
M20	220	80	120	170
M24	260	100	150	205
M30	310	120	180	245
M36	400	140	210	305
M42	450	170	255	352,5
M48	550	200	300	425
M56	640	220	330	485

Kartiomurron ominaiskestävyyksien laskentaan käytettiin Miltenbergerin menetelmän osalta kaavoja (3.5)–(3.6) ja (3.8)–(3.9), eurokoodin osalta kaavoja (4.4)–(4.6), (4.9) ja

(4.11)–(4.14) sekä ACI-standardin osalta kaavoja (4.67)–(4.70). Kaavojen ominaiskestävyydeksi eri pulttiko'illa ja siten eri tehollisilla korkeuksilla saatiin seuraavan kuvan 26 mukaiset tulokset.



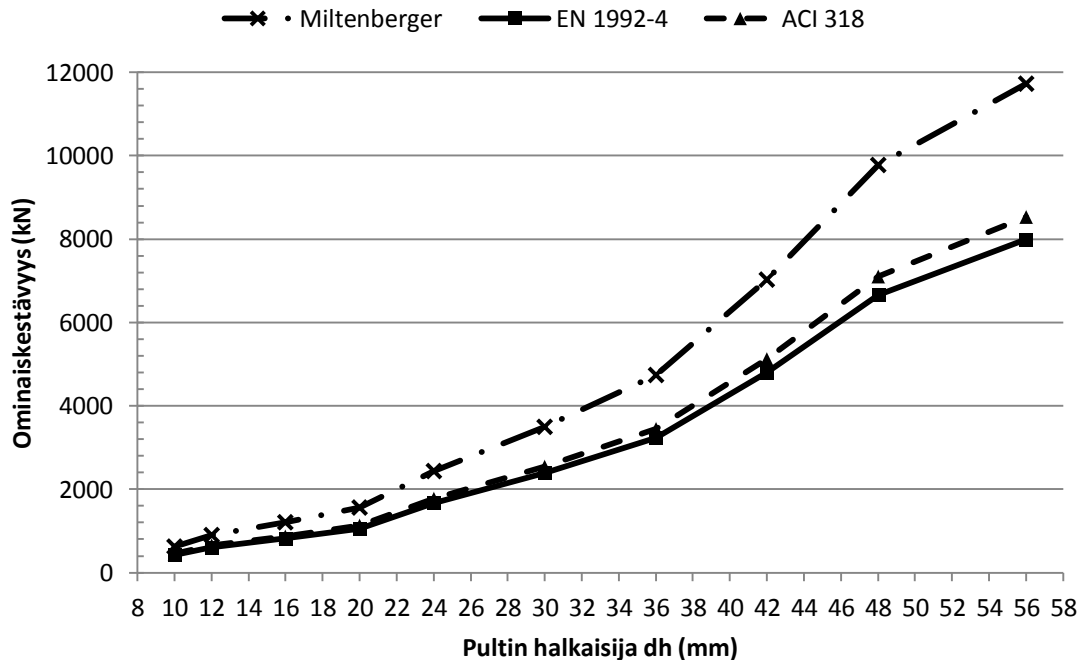
Kuva 26. Koetilanteen kartiomurron ominaiskestävyydet

Kuvasta huomataan, että ACI-standardin mukainen ominaiskestävyys antaa pienillä tehollisilla korkeuksilla (alle 280 mm, M30-kokoa pienemmät pultit) suurimmat kestävyudet, mutta korkeuden kasvaessa kestävyudet pienenevät alle eurokoodin antamien arvojen. Tämä johtuu kaavojen (4.69) ja (4.70) määritelmästä, joissa muuttujien edessä oleva kerroin pienenee, mikä pienentää radikaalisti suurempien pulttikokojen kestävyksiä. Miltenbergerin menetelmän mukaiset kestävyudet alkavat ACI-standardin ja eurokoodien antamien arvojen välistä, mutta jatkavat kasvua samalla käyrällä 280 mm tehollisen korkeuden jälkeenkin. Eurokoodin arvot ovat lyhemmille tehollisille korkeuksille pienimmät, mutta ACI-standardin kestävyyksien pienentyessä arvot nousevat ACI:n arvoja korkeammiksi.

Pienillä tehollisilla korkeuksilla menetelmien erot johtuvat käytännössä kaavoissa olevista kertoimista. Koska eurokoodi ja ACI-standardi ottavat huomioon myös betonin halkeilun, ovat ne parempia menetelmiä kestävyuden arvioimiseksi. Eurokoodi antaa myös konservatiivisimmat arvot ominaiskestävyyksille. Lisäksi ACI-standardin ominaiskestävyydet suuremmilla tehollisilla korkeuksilla vastaavat melkein eurokoodin arvoja, joten eurokoodin käyttö mitoitusmenetelmänä kartiomurron kohdalla on perusteltua.

Ulosvetokestävyys ominaisarvot laskettiin Miltenbergerin menetelmässä kaavalla (3.10), eurokoodissa kaavalla (4.18) ja ACI-standardissa kaavoilla (4.73)–(4.74). Koeti-

lanteessa jälkivalumassaksi valittiin lujuusluokkaa C30/37 oleva jälkivalubetoni. Alla olevassa kuvassa 27 esitetään Miltenbergerin, eurokoodin ja ACI-standardin mukaiset ominaiskestävyydet ulosvetomurrolle erikokoisille pulteille.



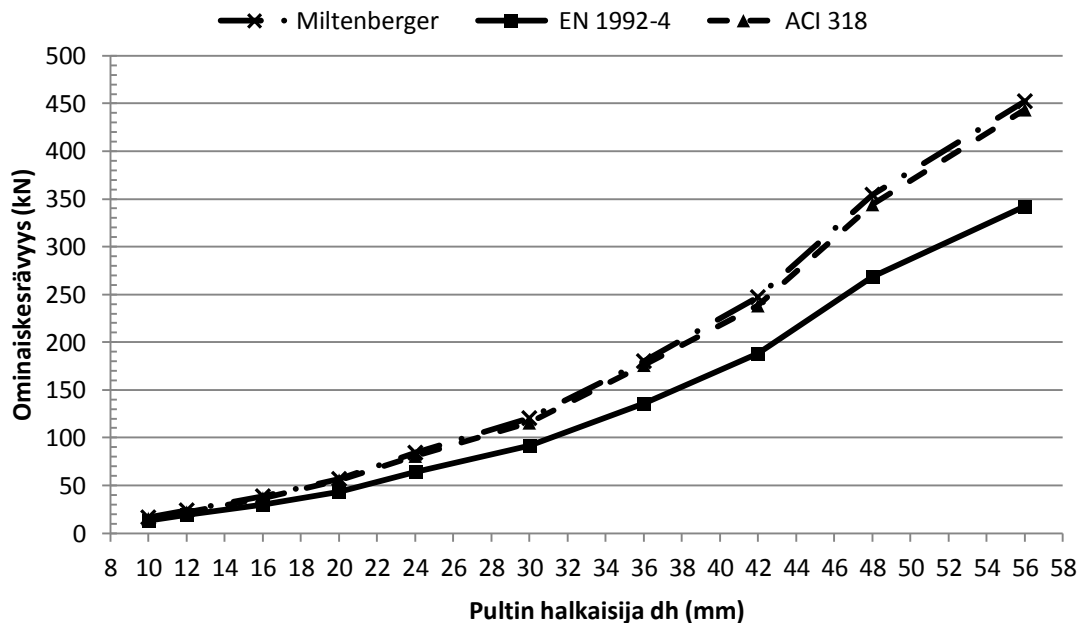
Kuva 27. Koetilanteen ulosvetomurron ominaiskestävyydet

Kuvasta huomataan, että Miltenbergerin menetelmä antaa suurimmat kestävyysarvot ulosvetomurrolle. ACI-standardin ja eurokoodin mukaisesti lasketut arvot kestävyysarvoille ovat matalampia eurokoodin antaessa pienimmät ominaiskestävyydet. Tämä on selitettävissä menetelmien käyttämällä kertoimilla. Siten tässä työssä suositellaan käytettäväksi eurokoodin mukaista ulosvetomurron ominaiskestävyyttä.

Yhdistetyn ulosveto- ja kartiomurron ominaiskestävyyksien laskentaan käytettiin Miltenbergerin menetelmässä kaavoja (3.2) ja (3.4)–(3.6), eurokoodin mukaisessa menetelmässä kaavoja (4.22), (4.24)–(4.26) ja (4.30)–(4.31) ja ACI-standardin mukaisessa menetelmässä kaavoja (4.76)–(4.80) ja (4.82). Laskennassa tarvittavia tartuntakestävyyksiä arvioitiin eurokoodin kaavoihin (4.62)–(4.64) perustuen, sillä ne mahdollistivat työsauman tutkimisen, jossa ei ole läpimenevää raudoitusta. Leikkauskestävyyden kaavoissa esiintyvät mitoituskestävyydet korvattiin ominaisarvoilla, ja kaavoihin vaihdettiin tarvittavat kertoimet sen perusteella, laskettiin tartuntakestävyyttä. Tämän perusteella on saatu alapuolisen kuvan 28 mukaiset yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron kestävyysarvot eri tehollisilla korkeuksilla.

Kaavoissa käytetty ankkurin halkaisija d_h korvattiin varauskolon halkaisijalla d_0 . Alkuperäiset kaavat on tarkoitettu tartunta-ankkurien kestävyysarvojen laskentaan, missä ankkurin ja porattavan reiän välillä ei ole suurta eroa. Tällöin kaavoilla saatava kestävyys vastaa käytännössä reiän vaipalla olevaa tartuntalujuutta. Alkuperäinen tartuntalujuus

kuitenkin huomioi myös ankkurin ja jälkivalun kestävyys. Nyt määriteltä tartuntalujuus ei huomioi kuin varauskolon seinämän kestävyys jättäen jälkivalun kestävyys huomiotta. Tässä työssä jälkivalun kestävyys on kuitenkin huomioitu ulosvetomurron laskennassa, joten halkaisijan vaihto on perusteltua.



Kuva 28. Koetilanteen yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron ominaiskestävyydet

Kuvasta 28 huomataan, että pienimmät kestävyys saadaan eurokoodin mukaisella menetelmällä. ACI-standardin ja Miltenbergerin menetelmien mukaiset arvot ovat eurokoodin antamia arvoja suurempia ja vastaavat melkein toisiaan. Miltenbergerin menetelmän arvot ovat hieman ACI-standardin arvoja pienempiä, mutta suurta eroa ei ole. Täten suositeltu mitoitusmenetelmä on käyttää eurokoodin kaavoja, kun tartuntalujuutta arvioidaan leikkauslujuuden avulla.

Lohkeamismurron yhteydessä tarkasteltiin vain lohkeamismurron estämiseksi vaadittavia reunaetäisyyksiä. Miltenbergerin menetelmä ja ACI-standardin mukainen menetelmä asettivat minimireunaetäisyydeksi arvon $0,4h_{ef}$. Eurokoodin mukainen minireunaetäisyys oli $0,5h_{ef}$. Koska eurokoodin etäisyys on suurin, voidaan sitä käyttää konservatiivisimman arvion tekemiseen. Siten lohkeamismurtoa ei tapahdu, eikä sen ominaiskestävyyttä käsitellä tarkemmin.

Halkeamismurron estämiseksi kaikki kolme menetelmää asettivat reunavaatimukset, joiden täytyessä tarkempaa mitoitusta ei tarvitse tehdä. Tämän työn ankkurointiliitoksen halkeamismurto oletetaan kuitenkin estetyksi raudoituksen avulla, joten reunavaatimusten eri tarvitse täytyä.

Leikkauskestävyys, jota käytetään tartuntalujuuden sijasta, voidaan laskea yhdistämällä eurokoodin leikkauskestävyyden kaava (4.63) ja luvussa 3.2 määritellyt kolosyvyyyteen

perustuvat pinnan kertoimet, jotka saadaan kaavoista (3.19) ja (3.20). Pinnan kertoimien määrittämiseen tarvittaisiin kuitenkin 2D LRA -laite, joten kertoimet määritellään tässä työssä eurokoodin mukaisesti taulukosta 6.

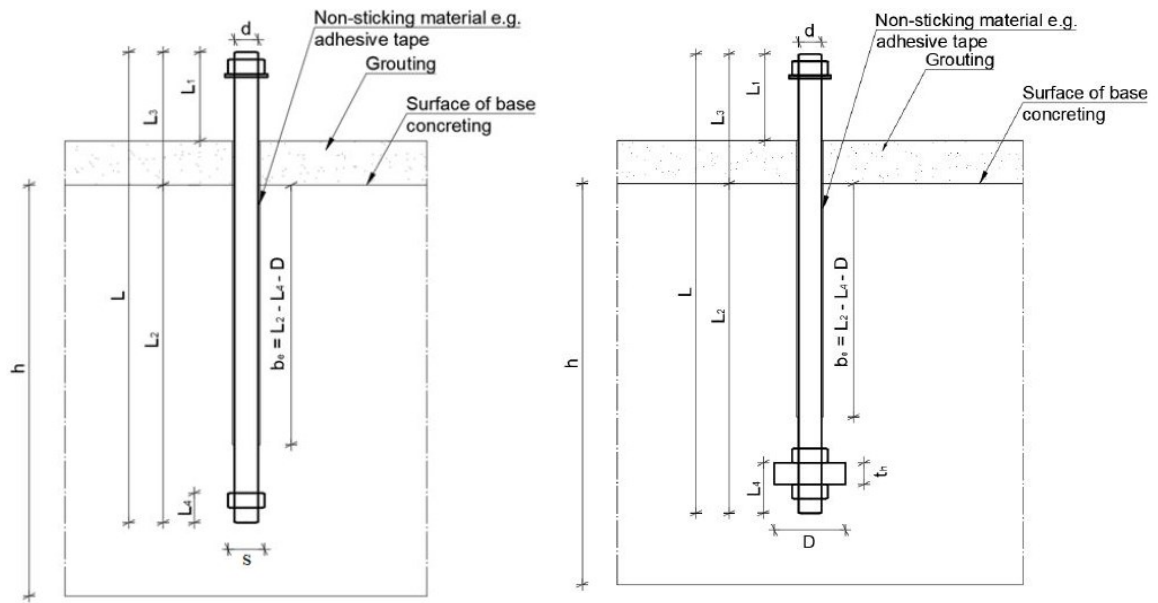
Aikaisemmin on todettu, että kestävyys pintaan kohdistuva normaalivoima σ_n . Tämä voidaan laskea ankkuriin kohdistuvasta vetovoimasta. Kuitenkin normaali-voima on murto-osa koko kiinnikkeen vetovoimasta, joten sen aiheuttama lisäys kestävyys on pieni. Lisäksi kestävyys on hankala määrittää huomioiden vetovoimasta aiheutuva lisäys, joten on perusteltua jättää normaalivoiman osa pois kaavasta (4.63). Lisäksi kestävyys täytyy muuttaa ominaisarvoksi, jotta sitä voidaan käyttää tartuntalujuuden sijasta. Siten leikkauskestävyyden ominaisarvo saadaan kaavalla

$$v_{Rki} = cf_{ctk,0,05} \leq 0,5vf_{ck}. \quad (5.4)$$

Betoni-teräspinnan kohdalla termi $cf_{ct,0,05}$ saa arvon 0,8 MPa. Liitteeseen A on koottu kaikki mitoitukseen suositeltavat menetelmät yhteen taulukkoon.

5.2 Käytettävät ankkurityypit ja osavarmuuskertoimet

Ankkuroinnin liitoksen ominaisuuksien vaikutusta tutkitaan kahden teollisuusrakentamiseen soveltuvan ankkurin kohdalla. Ankkurit ovat Myllysen [60, liite A ja liite B] määrittelemät tyypit 1 ja 2 (esitetty kuvassa 29). Ankkureiden valmistus on helppoa ja ne soveltuvat myös käytettäväksi suurien pulttikokojen (M60 ja M64) kanssa. Siten ne ovat hyvä teollisuusrakentamiseen soveltuva vaihtoehto. Ankkurityyppi 1 koostuu teräksisestä kierretangosta sekä tyssäkantana toimivasta mutterista. Ankkurityyppi 2 koostuu teräksisestä kierretangosta sekä ankkurointilevystä, joka kiristetään oikeaan korkeuteen kahden mutterin avulla. Molempien ankkurien varret päällystetään niin, että tartuntaa jälkivaluun ei tapahdu.



Kuva 29. Vertailussa käytettävät ankkurit. Vasemmalla ankkurityyppi 1 ja oikealla ankkurityyppi 2. [60]

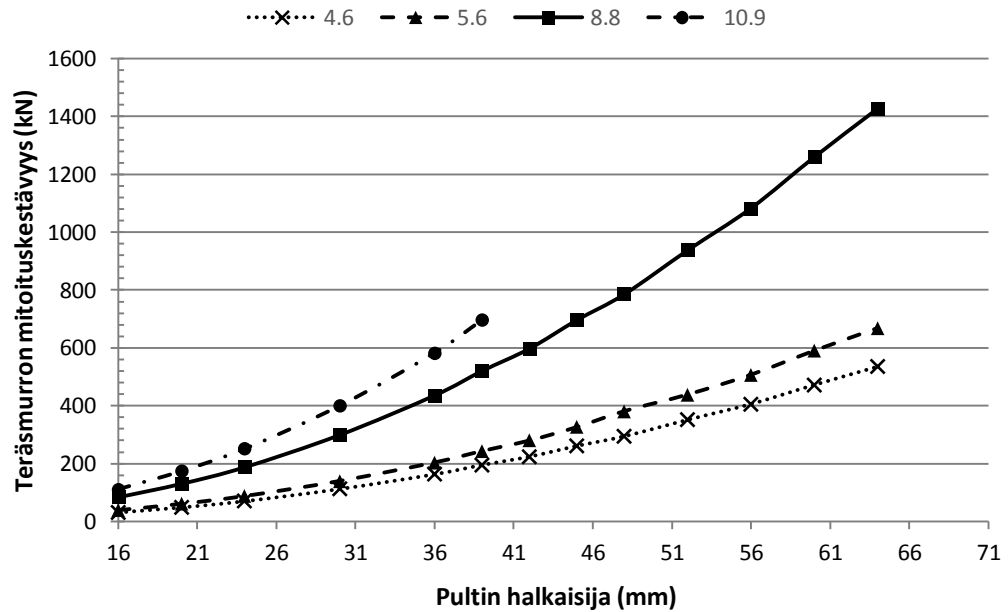
Mitoitus suoritetaan eurokoodin mukaisilla kaavoilla. Siten on tarpeellista tarkastella myös eurokoodin mukaiset osavarmuuskertoimet. Kuten luvussa 4.1 kerrotaan, eurokoodin mukaisessa mitoituksessa annetaan osavarmuuskertoimet materiaalien ja kuormien lisäksi myös murtotavoille. Osavarmuuskertoimet on laskettu Myllysen diplomi-työssä [60, liite A ja liite B] paikallavaluankkurille, jonka tyssäkantaa on tehty joko ankkuroidilevystä tai mutterista. Nämä kertoimet on esitetty alapuolisissa taulukoissa 13 ja 14. Kiinnittimen asennusherkkyyden huomioiva osavarmuuserroin γ_{inst} on käytettävillä ankkuureille 1,0, ja sen arvo on huomioitu varmuuskertoimen γ_{Mc} arvossa.

Taulukko 13. Laskennassa käytettävät ankkureihin liittyvät osavarmuuskertoimet

Teräslaatu	4.6	5.6	8.8	10.9
γ_{Ms}	2,0	2,0	1,5	1,4

Taulukko 14. Laskennassa käytettävät teräsbetoniin liittyvät osavarmuuskertoimet

γ_{Mp}	γ_{Msp}	γ_{Mc}	$\gamma_{Ms,re}$
1,5	1,5	1,5	1,15



Kuva 30. Ankkurityyppien teräsmurron mitoituskestävyydet

Ankkurityyppien teräsmurron mitoituskestävyydet eri teräslaaduille ja pulttiko'ille on esitetty yllä olevassa kuvassa 30.

5.3 Varauksolon toteutuksen vaikutus

Varauksolon toteutukseen liittyen tutkittiin kolmea erilaista vaihtoehtoa: rakenteeseen jäävää poimutettua muottiputkea, vaarnattua muottiputkea ja karhennettua varauksoloa, joka voidaan toteuttaa sileäpintaisella muottiputkella, tai poraamalla, ja karhentamalla syntynyt rajapinta. Tutkimus tehtiin eri lujuusluokkiin kuuluvalla perusvalulla. Työssä huomioitiin yleisesti käytössä oleva lujuusluokka C30/37 sekä yhtä astetta lujempi luokka C35/45. Lisäksi huomioitiin lujuusluokka C25/30, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia SFS 4632:n kanssa.

Huomioon otetut murtotavat olivat kartiomurto, yhdistetty ulosveto- ja kartiomurto sekä teräsmurto. Lohkeamismurtoa ei tutkittu, koska se voidaan estää riittävällä reunaetäisyydellä. Ulosvetomurto jätettiin tutkimatta, koska se vaikuttaa vain jälkivalumassalta vaadittaviin ominaisuuksiin, joita tutkitaan seuraavassa luvussa. Myöskään halkeamismurtoa ei tutkittu, koska se vaikuttaa vain rauditusratkaisuihin.

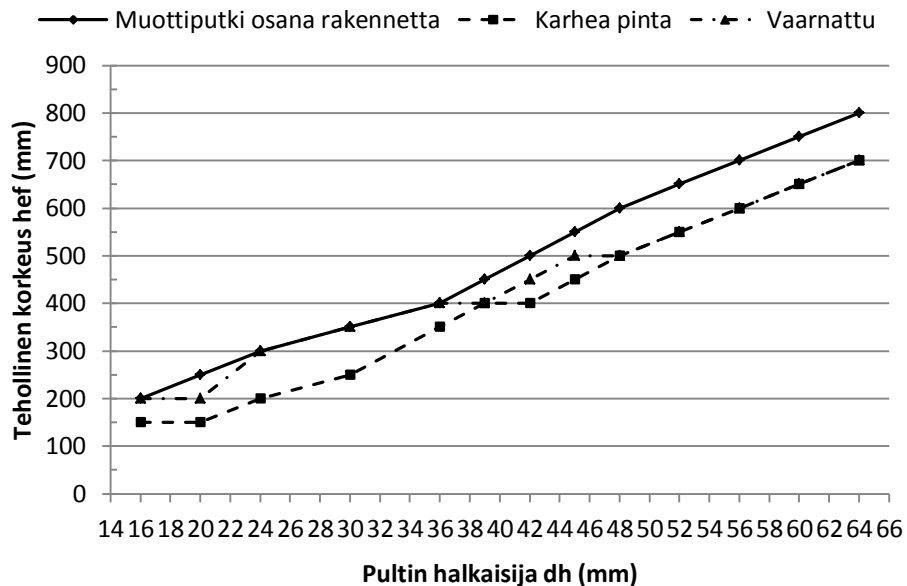
Muottiputken halkaisijalle D valittiin jokaisen pulttikoon kohdalla vakioarvo, jota käytettiin laskennassa. Valinta tehtiin putken valmistamisen helpottamiseksi ja tulosten yksinkertaistamiseksi. Samasta syystä tehollisten korkeuksien määrittäminen tehtiin 50 mm tarkkuudella. Poraamalla tai muotittamalla tehtävälle varauksololle valittiin vastaavan suuruinen vakiohalkaisija d_0 jokaista pulttikokoa kohden. Halkaisijat valittiin siten, että ankkurin kanta mahtuu aina kolon sisään. Ankkurityyppi 2 oli määräävämpi suurien ankkurilevyjen takia. Myllysen työssä ankkurilevy on poikkileikkaukseltaan

ympyrä, mutta tässä työssä varauskolojen halkaisija valittiin siten, että poikkileikkaukseltaan neliönmuotoinen ankkurilevy mahtuu myös koloon. Valitut halkaisijat olivat 100 mm, 150 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm, 300 mm, 300 mm, 350 mm, 350 mm, 400 mm, 450 mm ja 450 mm.

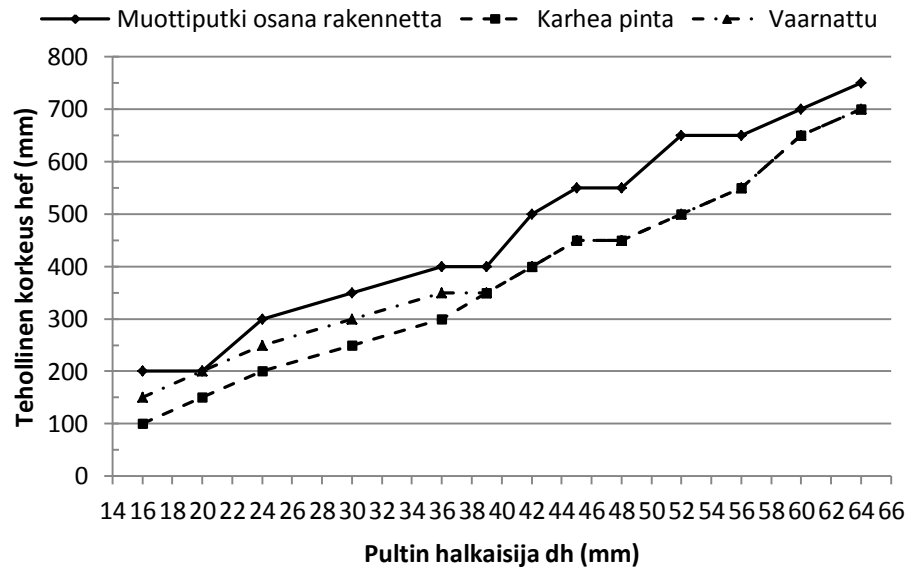
Reunaetäisyys ankkurille oli määritetty tehollisen korkeuden perustella niin, että $c_e = 1,5h_{ef}$. Siten sekä kartiomurron että yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron tapauksessa vaikutusalueiden pinta-alojen suhde ei vaikuttanut laskentaan. Tällä mitalla estettiin myös lohkeamismurron tapahtuminen.

Käytännössä toteutusmenetelmän valinta vaikutti joko suoraan leikkauskestävyyden arvoon (poimutetun muotin tapauksessa) tai pintakertoimen c arvoon. Edelliseen lukuun perustuen teräksisen rakenteeseen jäävän muottiputken kohdalla käytettiin suoraan leikkauskestävyyden arvoa 0,8 MPa. Luvun 4.1.9 perusteella vaarnatulla muottiputkella c saa arvon 0,5. Sileäpintaisen muottiputken ja porattavan varauskolojen pintakertoimien arvot riippuvat määritellystä karheuden tasosta. Karhealla pinnalla tämä arvo on 0,4. Jälkivalumassan oletettiin olevan luokkaa lujempaa rakennebetonia kuin perusvalun, jolloin leikkauskestävyys riippui perusvalun lujuudesta.

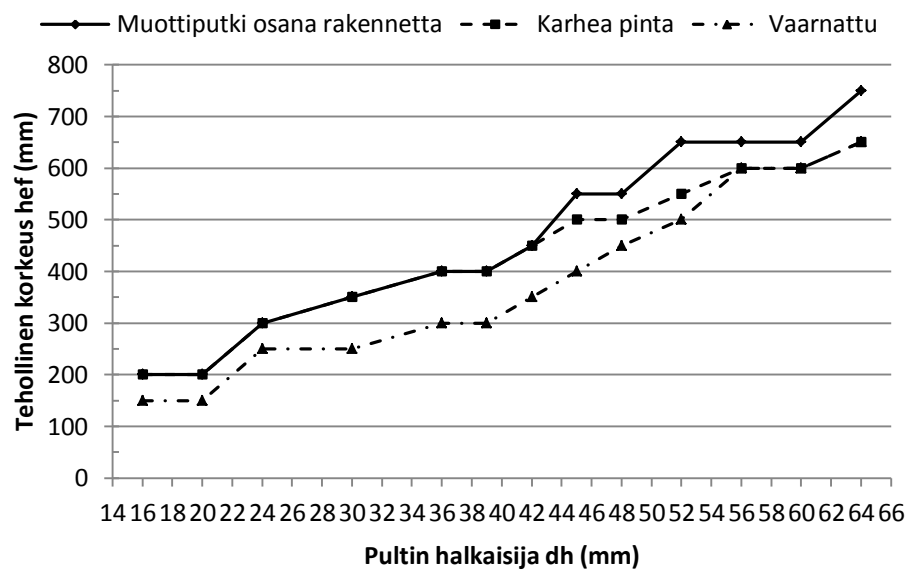
Alla olevat kuvat 31–42 esittävät eri tehollisia korkeuksia eri teräslujuuksilla ja pultti-ko'illa, kun varauskolo on toteutettu näillä kolmella eri menetelmällä. Kuvat 31–33 koskevat teräslaatuja 4.6, kuvat 34–36 koskevat laatua 5.6, kuvat 37–39 koskevat laatua 8.8 ja viimeiset kolme kuvaa 40–42 koskevat laatua 10.9.



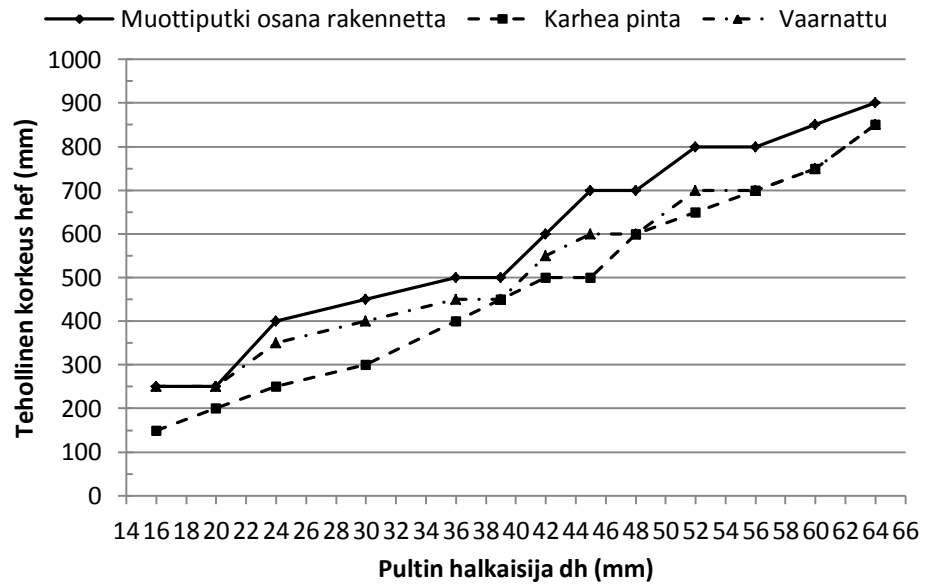
Kuva 31. Teholliset korkeudet teräslaadulle 4.6 perusvalun ollessa C25/30



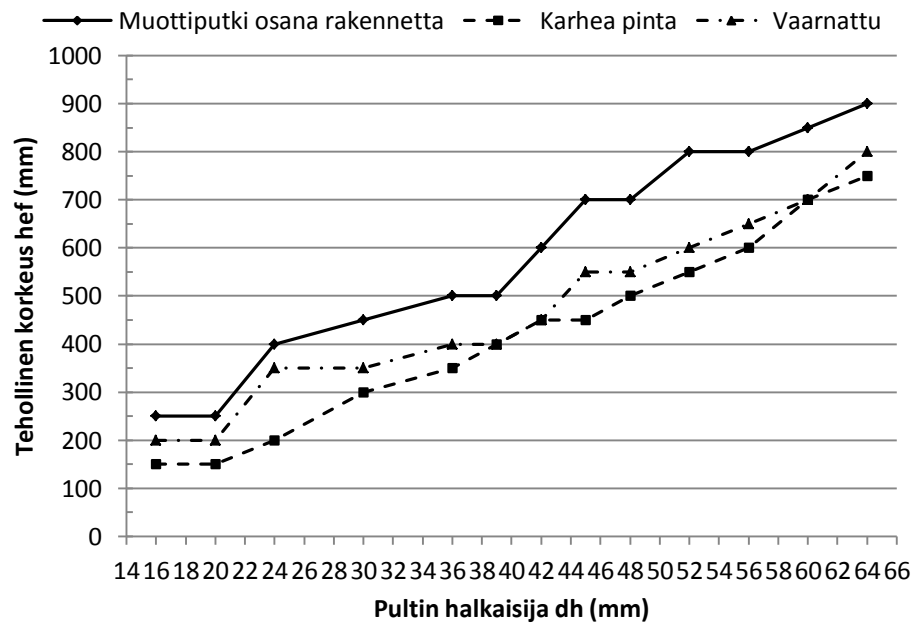
Kuva 32. Teholliset korkeudet teräslaadulle 4.6 perusvalun ollessa C30/37



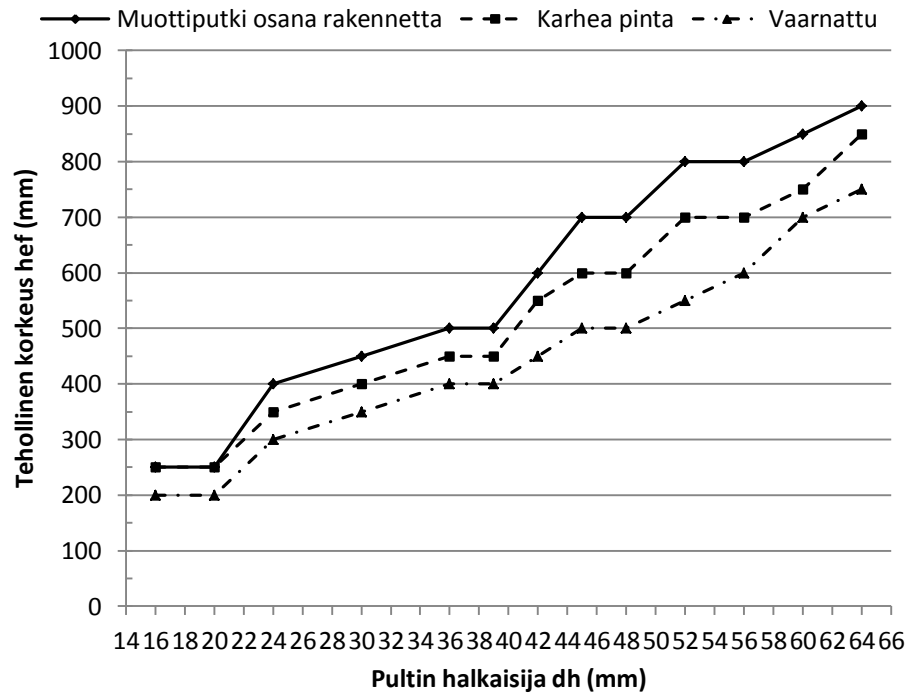
Kuva 33. Teholliset korkeudet teräslaadulle 4.6 perusvalun ollessa C35/45



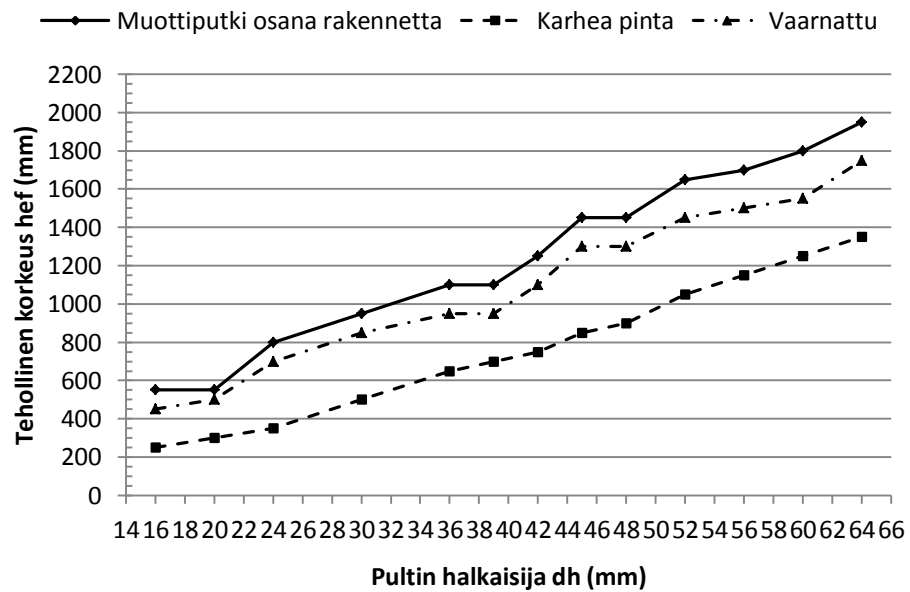
Kuva 34. Teholliset korkeudet teräslaadulle 5.6 perusvalun ollessa C25/30



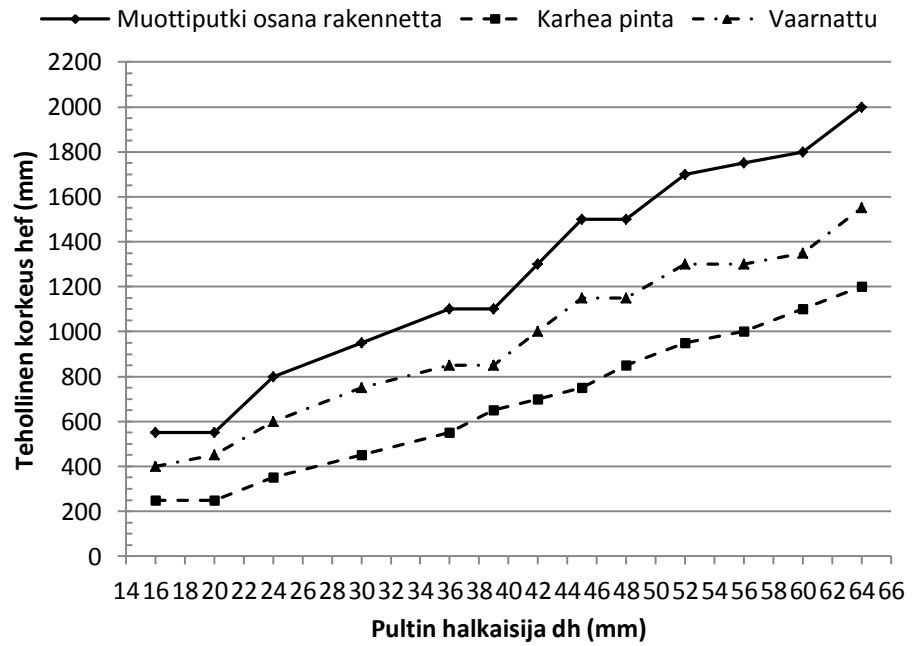
Kuva 35. Teholliset korkeudet teräslaadulle 5.6 perusvalun ollessa C30/37



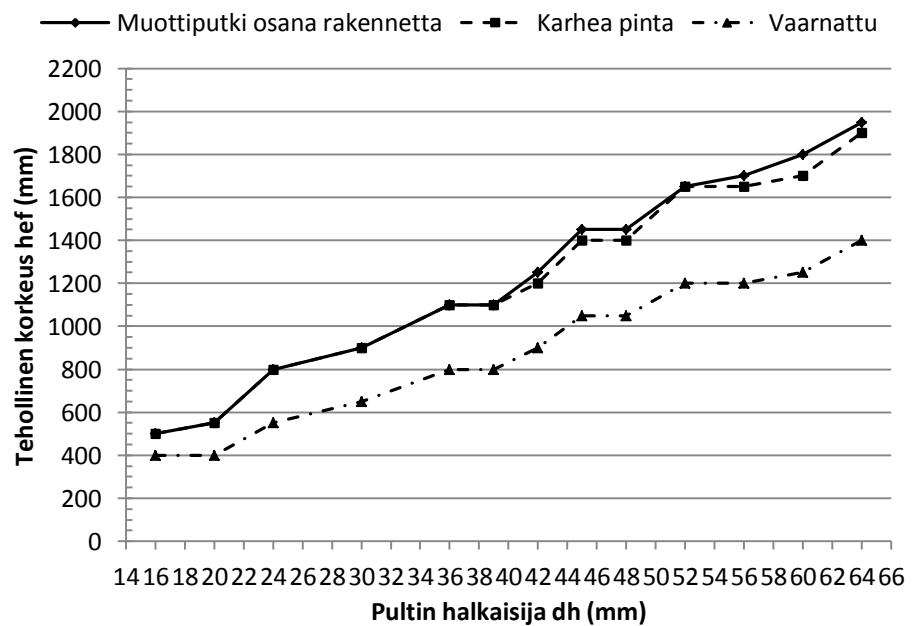
Kuva 36. Teholliset korkeudet teräslaadulle 5.6 perusvalun ollessa C35/45



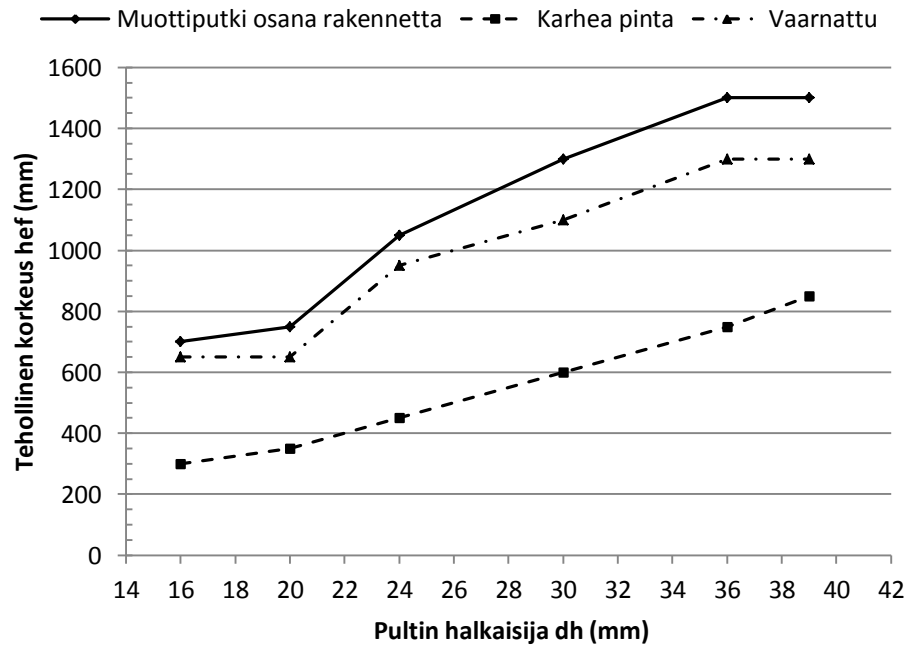
Kuva 37. Teholliset korkeudet teräslaadulle 8.8 perusvalun ollessa C25/30



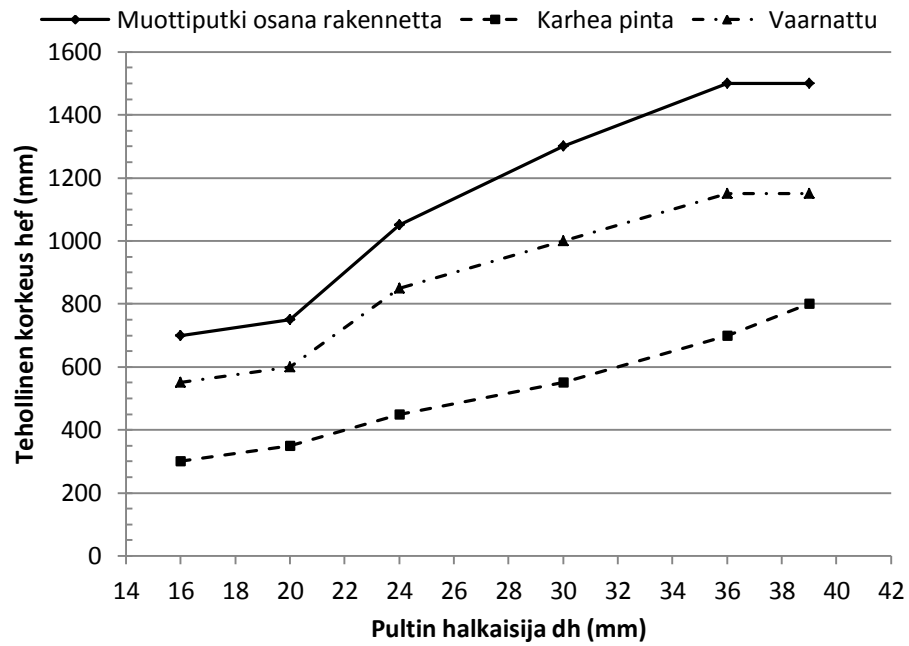
Kuva 38. Teholliset korkeudet teräslaadulle 8.8 perusvalun ollessa C30/37



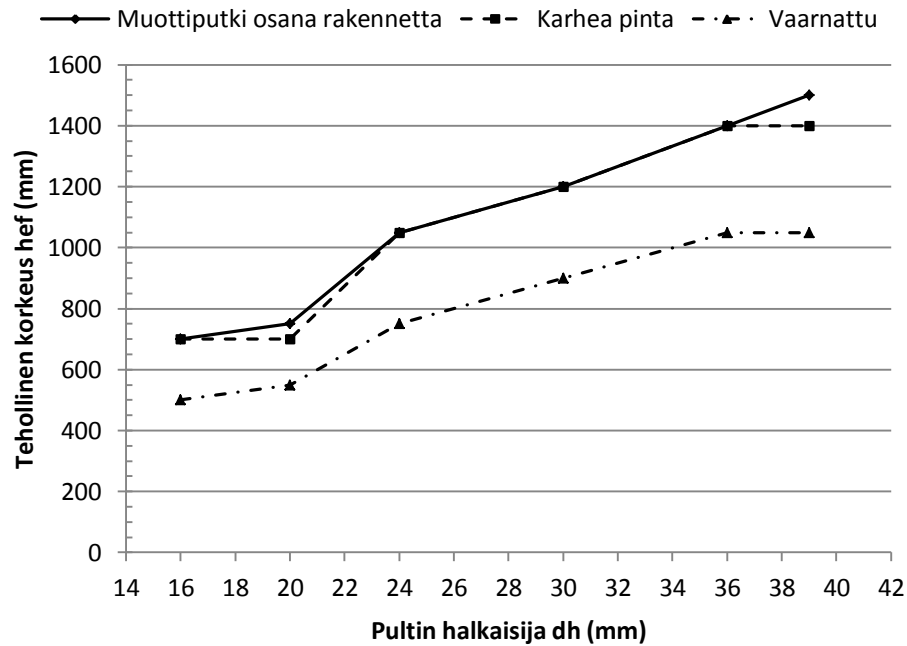
Kuva 39. Teholliset korkeudet teräslaadulle 8.8 perusvalun ollessa C35/45



Kuva 40. Teholliset korkeudet teräslaadulle 10.9 perusvalun ollessa C25/30



Kuva 41. Teholliset korkeudet teräslaadulle 10.9 perusvalun ollessa C30/37



Kuva 42. Teholliset korkeudet teräslaadulle 10.9 perusvalun ollessa C35/45

Kuvista huomataan, että pinnan karheuden kasvaessa tarvittava tehollinen korkeus lyheni. Aina pinnan karheuden muutos ei kuitenkaan muuttanut tehollisen korkeuden arvoa yksittäistä pulttikokoa tarkastellessa. Tämä johtui korkeuden muutokselle asetetusta 50 mm:n rajasta. Yhdistetty ulosveto- ja kartiomurto oli määräävässä asemassa alhaisemmilla pinnan karheuksilla, mutta kun riittävä karheus saavutettiin, muuttui kartiomurto heikoimmaksi ja siten määrääväksi tehollisen korkeuden kannalta. Tämä koski erityisesti heikoimpia ankkureita (lujuusluokat 4.6 ja 5.6), kun pinta oli vaarnattu. Luonnollisesti myös perusvalun lujuus vaikutti tehollisiin korkeuksiin. Lujemman betonin käyttö mahdollisti lyhyemmät korkeudet. Liitteessä B esitetään lasketut teholliset korkeudet taulukkomuodossa kaikille kolmelle betonilujuudelle.

Betonilujuutta C25/30 tarkastellessa huomataan, että kaikilla teräslaaduilla lyhyimmät teholliset korkeudet saatiin kolon pinnan ollessa vaarnattu. Tämä johtuu pintakertoimen arvosta, joka mahdollistaa parhaiten betonin vetolujuuden hyödyntämisen. Pisimmät teholliset korkeudet saatiin, kun pinta oli karhea. Tämä selittyy sillä, että pintakertoimen arvo oli liian pieni kasvattaakseen leikkauslujuutta yli 0,8 MPa:n, joka vastaa muottiputken leikkauslujuutta. Teräslautujen 4.6 ja 5.6 kohdalla osa muottiputkellisen, karhean pinnan ja vaarnatun pinnan tehollisista korkeuksista saavat saman arvon, vaikka leikkauslujuus muuttuukin työsaumassa. Samat arvot johtuvat varauskolon halkaisijasta, joka vaikuttaa kolon vaipan pinta-alaan, ja sitä kautta vaadittavaan teholliseen korkeuteen.

Betonilujuutta C30/37 tarkastellessa huomataan, että pisimmät teholliset korkeudet eri teräslaaduilla saatiin varauskolon rajapinnan ollessa karhea tai muotin jäädessä osaksi rakennetta. Nyt pintakertoimen arvo oli riittävän suuri, jotta leikkauskestävyyden arvo 0,8 MPa ylitettiin. Useimmissa tilanteissa muottiputki antoi pisimmät korkeudet, mutta

välillä osa karhean pinnan antamista korkeuksista olivat yhtä suuria. Syynä on tässäkin tapauksessa varauksolon halkaisijan muutosväli. Lyhimmat teholliset korkeudet saatiin pinnan ollessa vaarnattu.

Betonin lujuusluokkaa C35/45 tarkastellessa huomataan tilanteen olevan sama kuin lujuusluokassa C30/37. Lyhimmat teholliset korkeudet saatiin luonnollisesti vaarnatulla pinnalla. Pisimmät teholliset korkeudet määräytyivät pääosin muottiputken mukaan, mutta useasti karhean pinnan antama tulos oli yhtä suuri. Karhean pinnan teholliset korkeudet pienenevät yleensä suuremmilla pulttikokoilla, jolloin muottiputki jäi määrääväksi pinnanlaaduksi. Täytyy kuitenkin huomioda, että tuloksiin vaikuttavat edelleen varauksolojen halkaisijat.

Saatuja poimutetun muottiputken mittoja verrattiin SFS 4632:n kanssa, jotta oli mahdollista selvittää, miten hyvin varauksolon mitat vastaavat standardin mukaisia tuloksia. Taulukossa 15 on esitetty SFS-standardin mukaiset teholliset korkeudet ja varauksolon halkaisijat sekä laskennassa saadut teholliset korkeudet ja halkaisijat eri pulttikokojen kohdalla. Vertailussa käytettiin arvoja, jotka vastaavat perusvalun lujuusluokkaa C25/30.

Taulukko 15. *Laskentatulosten vertailu*

Koko	M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
Muottiputken halkaisija D (mm) sen jäädessä valuun													
SFS 4623	160	160	200	210	250	-	290	-	340	-	380	-	-
Uusi	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Tehollinen korkeus h_{ef} (mm)													
SFS 4632	170	220	260	310	400	-	550	-	550	-	640	-	-
4.6	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
5.6	250	250	400	450	500	500	600	700	700	800	800	850	900
8.8	550	550	800	950	1100	1100	1250	1450	1450	1650	1700	1800	1950
10.9	700	750	1050	1300	1500	1500	-	-	-	-	-	-	-

Taulukosta nähdään, että tässä työssä valittu muottiputken halkaisija D vastaa suhteellisen hyvin SFS-standardin halkaisijoita. Pienemmällä pulttikokoilla uusi halkaisija on hieman (10 mm–50 mm) pienempi standardiin verrattuna. Pulttikoon M39 jälkeen uusi halkaisija on tyypillisesti 10 mm standardin halkaisijaa suurempi. Tehollisen korkeuden osalta standardin arvot ovat systemaattisesti pienempiä kuin uudet arvot. Ero selittyy standardin käyttämällä pienemmällä ankkurin lujuudella. Ankkurin kestävyyttä heikentämättä voidaan käyttää pienempiä tehollisia korkeuksia, kun vaadittava kestävyys alkujaankin on pienempi. Korkeuksien eroihin vaikuttaa myös valittu 50 mm väli, jolla uusia korkeuksia muutettiin. Pulttikoon M42 kohdalla uusi tehollinen korkeus on teräslaadun 4.6 kohdalla poikkeuksellisesti pienempi kuin standardin vastaava arvo. Tämä johtuu todennäköisesti varauksolon halkaisijasta, joka on standardissa pienempi. Kuitenkin teräslaadun 4.6 vastaavat teholliset korkeudet vastaavat suhteellisen tarkasti standardin esittämiä korkeuksia. Lujempien teräslaatuja ja betoniluokkien kohdalla on käytetty samaa laskentamenetelmää, joten voidaan olettaa, että laskelmat muottiputken jäädessä valuun pitävät riittävän luotettavasti paikkaansa kaikilla tutkituilla materiaaleilla.

Betoni-betonipinnalle ei ole saatavilla standardia, johon verrata tässä työssä saatuja tuloksia. Edellä tehdyssä vertailussa jälkivalun tartuntalujuus oli määritelty suoraan, mutta betoni-betonipinnalle sitä arvioitiin leikkauslujuuden kautta. Luvussa 4.1.9 todettiin kuitenkin uskottava yhteys leikkauslujuuden ja suoraan määritetyn tartuntalujuuden välille. Tämän perusteella voidaan riittävän luotettavasti olettaa, että myös laskelmat porattaville varauskoloille ja poistettaville valumuoteille karhennetulla pinnalla pitävät paikkaansa, kun kokeellista testausta ei tehdä.

5.4 Jälkivalumassan vaikutus ja sen vaatimukset

Jälkivalumassan vaikutusta ankkurointiliitokseen tutkittiin kahdella eri vaihtoehdolla: jälkivalumassan oletettiin olevan rakennebetonia tai EN 1504-3:n mukaista sementti-pohjaista massaa. Rakennebetonia tutkittaessa otettiin huomioon ulosvetomurto, jonka avulla määritettiin riittävä puristuslujuus jälkivalulle. Erillisen jälkivalumassan tapauksessa huomioitiin ulosvetomurron lisäksi tuotteelle ilmoitettu tartuntalujuus, joka vaikuttaa myös tarvittavan varauskolon mittoihin. Työssä ei tarkasteltu tiettyä jälkivalutuotetta, vaan standardin EN 1504-3 mukaisia rakenteellisen jälkivalumassan luokkia R3 ja R4. Siten erillistä jälkivalumassaa käytettäessä tutkittiin ulosvetomurron lisäksi myös edellisessä luvussa tutkitut murtotavat.

Taulukossa 16 esitetään ankkurityyppejä 1 käytettäessä rakennebetonilta vaadittavat minimilujuusluokat, jotta ankkuriliitos murtuu sitkeästi. Ankkurityypin kohdalla huomattiin, että ankkurin ulosvetokapasiteetti rajoitti ankkurin kestävyyttä teräsmurron sijasta. Tämä johtui ankkurin päässä olevan mutterin pienestä voimaa välittävästä pinta-alasta. Siksi teräslujuudelle 10.9 ei ole ilmoitettu vaadittavaa jälkivalun lujuutta kaikilla pultti-ko'illa.

Taulukko 16. Vaadittava lujuusluokka rakennebetonijälkivalulle, kun käytetään ankkurityyppejä 1

	Teräs 4.6	Teräs 5.6	Teräs 8.8	Teräs 10.9
M16	C25/30	C30/37	C70/85	C90/105
M20	C30/37	C35/45	C70/85	-
M24	C30/37	C35/45	C70/85	-
M30	C25/30	C30/37	C70/85	C90/105
M36	C25/30	C30/37	C70/85	C90/105
M39	C30/37	C40/50	C80/95	C90/105
M42	C30/37	C35/45	C80/95	-
M45	C30/37	C35/45	C80/95	-
M48	C30/37	C35/45	C80/95	-
M52	C30/37	C35/45	C80/95	-
M56	C30/37	C40/50	C80/95	-
M60	C30/37	C35/45	C80/95	-
M64	C30/37	C35/45	C80/95	-

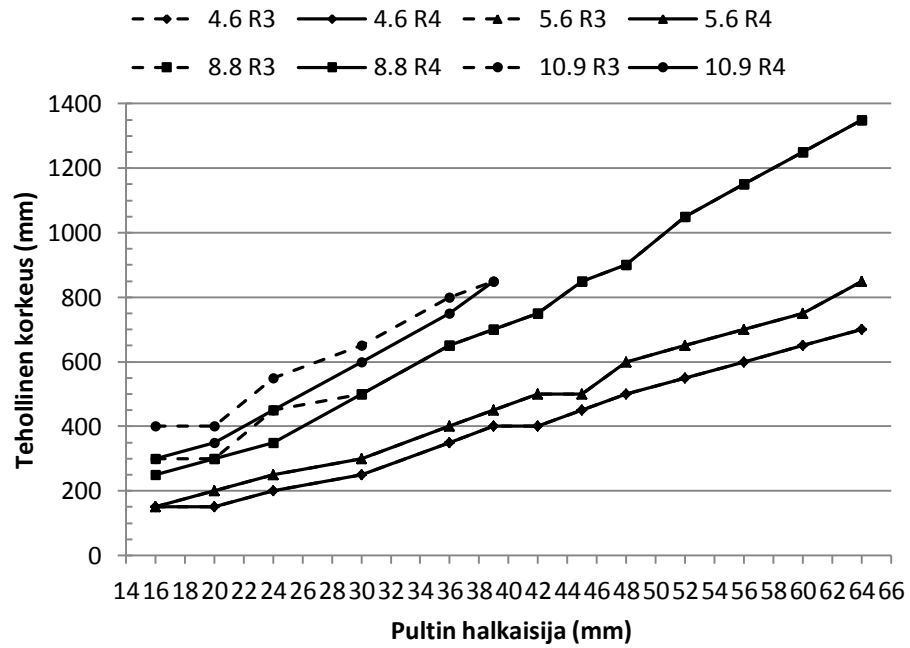
Ankkurityypille 2 vaadittava jälkivalun minimilujuus oli kaikilla teräslaaduilla ja pulttiko'illa C25/30. Tämä johtui ankkurilevyn suuresta pinta-alasta, joka kasvaa riittävässä suhteessa teräsmurtokestävyyteen nähden ja mahdollisti näinkin pienen lujuusvaatimuksen.

Jälkivalun lopullista lujuusluokkaa määrittäessä on kuitenkin syytä huomioida perusvalun lujuusluokka. Jos jälkivalu on heikompaa kuin perusvalu, vaikuttaa se myös leikkauskestävyyteen heikentävästi. Yhdistettyä ulosveto- ja kartiomurtoa laskiessa on tiedotettava, kumpi valuista on heikompaa. Siten, jos jälkivalu on perusvalua heikompaa, vaikuttaa jälkivalun lujuus myös varauskolon mittoihin. Jälkivalun ollessa lujempaa varauskolon mitat riippuvat perusbetonin lujuudesta ja saumapinnan laadusta.

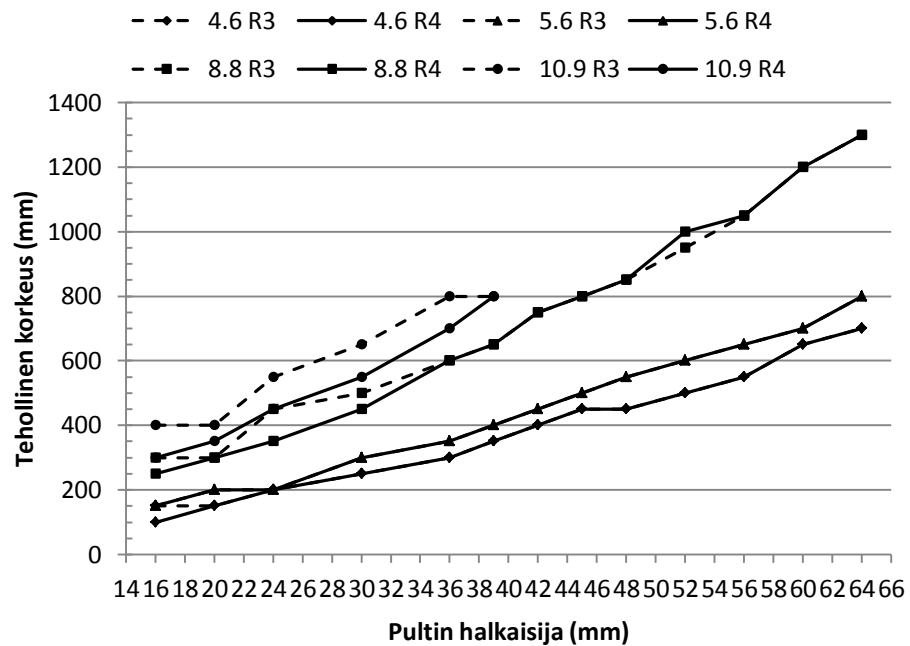
Luokkaan R3 kuuluvan erillisen jälkivalumassan tartuntalujuus on 1,5 MPa ja puristuslujuus 25 MPa. Kun tätä arvoa verrataan taulukossa 16 esitettyihin jälkivalumassan minimilujuuksiin, huomataan, että R3-luokan massa ei käytännössä sovellu ankkurityypille 1. Luokan R3 jälkivalumassaa tutkittiin siten vain ankkurityypillä 2.

Luokkaan R4 kuuluvan erillisen jälkivalumassa tartuntalujuus on 2,0 MPa ja puristuslujuus 45 MPa. Puristuslujuuden perusteella tämän luokan massa soveltuu molemmille ankkurityypeille. Taulukosta 15 voidaan edelleen päätellä, että ankkurityyppeä 1 voidaan käyttää R4-luokan jälkivalun kanssa vain teräslaaduilla 4.6 ja 5.6. Tämän jälkeen jälkivalumassa puristuslujuus ylittyy, ja ankkuriliitoksessa tapahtuu ankkurin ulosveto-murto.

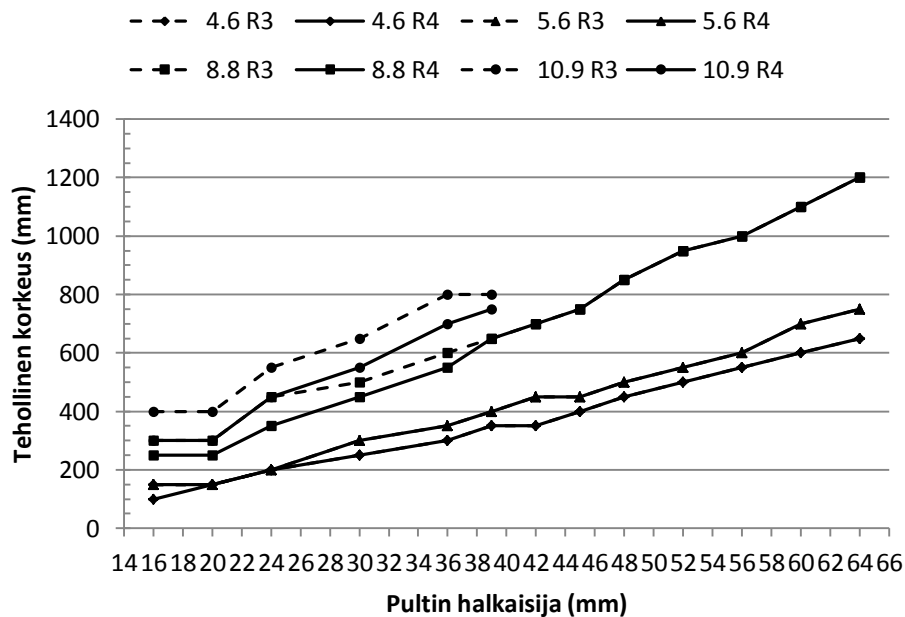
Kuvissa 43–45 esitetään teholliset korkeudet eri betonin lujuusluokissa pulttikokoihin perustuen, kun jälkivalumassa on luokassa R3 tai R4.



Kuva 43. Teholliset korkeudet R3- ja R4-luokan jälkivalumassoilla perusvalun ollessa C25/30



Kuva 44. Teholliset korkeudet R3- ja R4-luokan jälkivalumassoilla perusvalun ollessa C30/37



Kuva 45. Teholliset korkeudet R3- ja R4-luokan jälkivalumassoilla perusvalun ollessa C35/45

Kuvien perusteella huomataan, että heikompien pulttien (laadut 4.6 ja 5.6) kohdalla jälkivalumassan luokka ei vaikuta tehollisen korkeuden arvoon. R3- ja R4-luokka antoivat yksittäisillä pulttiko'illa ja perusvalulujuuksilla aina yhtenevät teholliset korkeudet. Korkealujuuksisilla pulteilla jälkivalun luokka taas vaikutti korkeuksien arvoihin. Heikommalla R3-luokan jälkivalumassalla teholliset korkeudet olivat useassa tapauksessa pidempiä. Ero selittyi sillä, että alemmissa teräksen lujuuksissa kartiomurto oli määräävä murtotapa, kun murtotapoja vertailtiin teräsmurtoon. Tällöin perusvalun puristuslujuus vaikutti oleellisesti tehollisen korkeuden määräytymiseen jälkivalun tartuntalujuuden sijasta. Kun saavutettiin riittävän suuri tartuntalujuus, muuttui kartiomurto määräväksi myös matalampilujuisten ankkureiden kohdalla. Lasketut teholliset korkeudet ovat myös huomattavasti lyhyempiä kuin aiemmin luvussa 5.3 määritetyt korkeudet. Tämä selittyy jälkivalumassan suuremmalla tartuntalujuudella, jolloin varauskolon pinta-alan (ja sitä kautta tehollisen korkeuden) ei tarvitse olla yhtä suuri. Taulukot tehollisista korkeuksista on liitteessä B.

5.5 Raudoitusratkaisuiden vaikutus

Luvuissa 4.1.6–4.1.8 käsiteltiin ankkurointiliitoksessa käytettävää lisäraudoitusta. Kartiomurto on mahdollista jättää huomiotta kestävyysien laskennassa, kun ankkuripultti ja mahdollinen muottiputki ankkuroidaan perusvaluun harjaterästangoon. Tämän raudoituksen vaikutusta ankkurointiliitoksien kestävyysien tutkittiin tilanteessa, jossa raudotus on ankkuroitu ankkurointipituuden l_{bd} verran perusvaluun. Perusvalun oletettiin

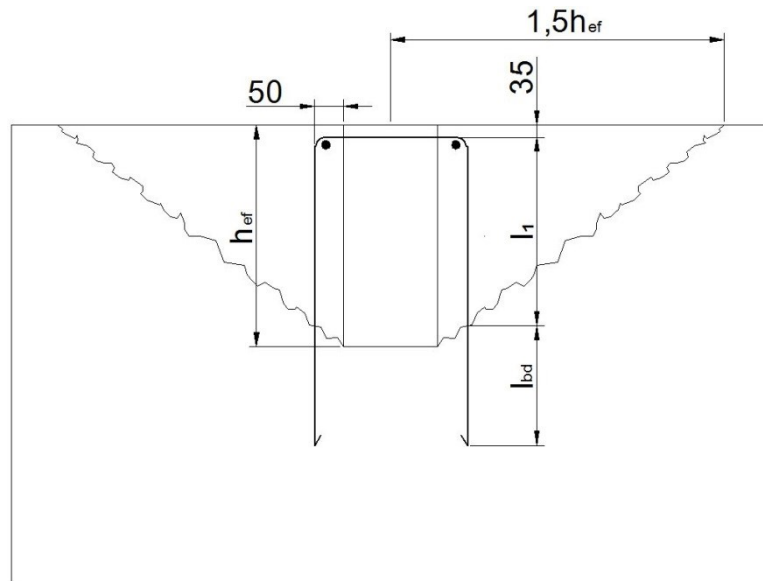
olevan riittävän paksu, jotta ankkurointipituus ei ylitä tätä arvoa. Ohuemmalla perusva-
lulla raudoitteen päitä täytyisi taivuttaa ja tarvittaessa ankkuroida jatkospituudella muu-
hun raudoitukseen.

Koska lisäraudoitus voi korvata kartiomurrosta saatavan kestävyys, tutkittiin tapauk-
sia, joissa kartiomurto on määräävä. Edellisten lukujen perusteella kartiomurto oli mer-
kitsevä alla olevan taulukon 17 esittämissä tapauksissa. Laskennan yksinkertaistamiseksi
lisäraudoitus määritettiin ainoastaan teräslaatukohtaisesti. Siten mukaan otettiin myös
joidenkin laatujen kohdalla pulttikokoja, joissa kartiomurto ei ollut määräävä.

Taulukko 17. *Betonin ja ankkurin lujuusluokat, joissa kartiomurto on määräävä
murtotapa*

	4.6	5.6	8.8	10.9
Vaarnattu pinta				
C25/30	x	-	-	-
C30/37	x	x	-	-
C35/45	x	x	-	-
R3-luokan jälkivalumassa				
C25/30	x	x	x	x
C30/37	x	x	x	x
C35/45	x	x	x	-
R4-luokan jälkivalumassa				
C25/30	x	x	x	x
C30/37	x	x	x	x
C35/45	x	x	x	x

Taulukosta huomataan, että heikoimmilla betoneilla ja suurempien lujuusluokkien teräs-
laaduilla kartiomurto ei ollut määräävä murtotapa. Vaarnatulla pinnalla kartiomurto ei
ollut määräävä teräslaaduilla 8.8 ja 10.9 missään betoniluokassa. Betoniluokassa
C25/30 teräsladulla 5.6 kartiomurto oli määräävä. Lisäksi R3-luokan pinnalla betoni-
luokassa C35/45 kartiomurto ei ollut määräävä, kun kyseessä oli teräslaatu 10.9. Näissä
tilanteissa ei ole järkevää käyttää lisäraudoitusta. Lisäraudoitus määritettiin siis taulu-
kon 17 esittämissä tapauksissa.



Kuva 46. Lisäraudoituksen laskentamalli

Kuvassa 46 esitetään tutkittu lisäraudoitus. Raudoituksena käytettiin tyypillistä U-hakaa lujuusluokassa B500B ja raudoituksen halkaisija olivat 8 mm, 10 mm, 12 mm ja 16 mm. Rauditus asetettiin 50 mm:n päähän varauskolan reunasta, jotta se voitiin ottaa huomioon laskennassa. U-hakojen lukumäärä määräytyi tarvittavan rauditusalan mukaan.

Lisäraudoitukseen liittyvät suureet laskettiin kaavoilla (4.50)–(4.56) ja (4.59). Näiden avulla määritettiin ankkurointiliitokseen tarvittava rauditusmäärä, jolla ylitetään ankkurin teräsmurron kestävyys ja estetään kartiomurron tapahtuminen. Luvun 4.1.6 mukaan liitokselle täytyisi lisäksi laskea kartiomurtokestävyys, kun tehollisena korkeutena käytetään lisäraudoituksen pituutta. Tätä ei kuitenkaan työssä ole tehty, sillä lisäraudoituksen pituus ylittää aina varauskolan tehollisen korkeuden. Siten raudituksen kartiomurtokestävyys on suurempi kuin varauskolan kestävyys, eikä laskentaa tarvitse tehdä. Ankkurointiliitos murtuu aina sitkeästi ankkurin teräsmurron kautta. Taulukossa 18 on esitetty tarvittavat rauditusmäärät, jolla saadaan estettyä kartiomurto.

Taulukko 18. Lisäraudoituksen vähimmäispinta-ala kartiomurron estämiseksi

$\sum_{i=1}^{n_{re}} A_{s,rei}$ (mm ²)	M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
4.6	73	114	164	262	381	456	523	610	688	821	948	1102	1249
5.6	92	143	206	327	477	569	654	763	891	1025	1185	1379	1561
8.8	195	304	438	698	1017	1214	1395	1625	1834	2189	2528	2940	3331
10.9	261	407	587	934	1361	1626	-	-	-	-	-	-	-

Taulukosta nähdään, että vaadittava rauditusala kasvoi loogisesti ankkurin kestävyyskasvaessa. Rauditusmäärät ottavat huomioon vain raudituksen teräsmurron asettamat vaatimukset. Ankkurointimurtoa ei ole huomioitu, koska sen estämiseksi täytyy määrittellä erikseen rauditteen koko sekä leikkeiden määrä. Liitteessä C on taulukoitu ehdotuksia näille arvoille, mutta lopullinen valinta täytyy tehdä tilannekohtaisesti.

Lisäraudoituksen ohella ankkurointiliitos tarvitsee myös pintaraudoituksen. Pintaraudoitus on tarpeellinen halkeamismurron estämiseksi. Kaavan (4.32) perusteella voidaan määrittää tarvittava raudoitusala $\sum A_{s,re}$ eri teräslaaduille ja pulttiko'ille. Tarvittavat pinta-alat on esitetty taulukossa 19, kun laskennassa käytetyt kertoimet valittiin tyssäkantaisen pultin mukaan. Tämä tuotti suurimmat ja konservatiivisimmat arvot pintaaloille. Pinta-alat luonnollisesti kasvoivat ankkurilujuuden kasvaessa, samoin kuten lisäraudoituksen tapauksessa.

Taulukko 19. *Pintaraudoituksen vähimmäispinta-ala halkeamismurron estämiseksi*

$\sum A_{s,re}$ (mm ²)	M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
4.6	36	56	81	129	187	224	258	300	339	404	467	543	615
5.6	45	70	101	161	235	280	322	375	439	505	584	679	769
8.8	96	150	215	343	501	598	687	800	903	1078	1245	1448	1641
10.9	128	200	289	460	670	801	-	-	-	-	-	-	-

Näihin pinta-aloihin täytyy vielä lisätä lisäraudoitukselta tulevien vetovoimien vaatimat pinta-alat. Voimien suuruus lasketaan luvussa 4.1.6 esitetyn kuvan 18 mukaisella ristikkomallilla. Koska ristikkomalli on hyvin tapauskohtainen, ei tässä työssä määritellä pintaraudoitukseen kohdistuvia vetovoimia tarkemmin. Voidaan kuitenkin todeta, että karkeasti arvioituna pintaraudoitukseen kohdistuu puolet ankkuriin kohdistuvasta voimasta molempiin raudoitussuuntiin.

Halkeamavälin rajoittaminen ankkurointiliitoksella on haastavaa. Tämänhetkiset eurokoodin kaavat on tehty palkkimaisille rakenteille, joihin kohdistuu taivutusta tai pitkitäissuuntaista vetoa. Laskentaan tarvittavien poikkileikkaussuureita on hyvin hankala soveltaa ankkuriliitoksen tapaukseen, joten lisätutkimus olisi tarpeellista, jotta halkeamaleveys voitaisiin luotettavasti määrittää. Lisäksi halkeamaleveyden laskentaan tarvitaan kuormitushistoria [30, s. 214], jota tässä työssä ei ankkuriliitokselle määritellä.

Loppujen lopuksi halkeamaleveys ei vaikuta oleellisesti ankkurointiliitoksen murtokestävyyteen, sillä halkeamat vaikuttavat enemmän pitkäaikaiskestävyyteen ja rakenteen ulkonäköön. Siten voidaan olettaa, että raudoituksen pinta-alan laskennan olevan riittävä tarkastelu. Pintaraudoituksen halkaisijan ja jakovälin valinnassa tulee kuitenkin pyrkiä maltillisiin arvoihin, jotta voidaan suuremmalla varmuudella estää isot halkeamaleveydet.

5.6 Varauksolon lopullisen korkeuden määrittäminen

Varauksolon tehollinen korkeus h_{ef} määräytyi kestävyyskierrosten laskennan perusteella. Lopullinen kolon korkeus h_{tot} oli kuitenkin korkeampi, koska tehollinen korkeus tarkoittaa pituutta perusvalun pinnasta tyssäkannan alkuun. Lopullinen korkeus saatiin lisäämällä teholliseen korkeuteen ankkurin kannan mitta sekä asennus- ja valmistustoleranssit ja jälkivalubetonin kiviaineksen raekoon huomioiva mitta.

Taulukko 20. *VarauskOLON lopulliseen korkeuteen vaikuttavat mitat*

Koko		M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
Teräs 4.6														
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	33	38	44	52	59	64	70	72	78	84	89	95	33
Lisämitta	$h_{lisä}$ (mm)	63	68	74	82	89	94	100	102	108	114	119	125	130
Teräs 5.6														
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	33	38	44	52	59	64	70	72	78	84	89	95	33
Lisämitta	$h_{lisä}$ (mm)	63	68	74	82	89	94	100	102	108	114	119	125	130
Teräs 8.8														
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	38	48	56	65	82	84	87	89	93	102	107	120	125
Lisämitta	$h_{lisä}$ (mm)	68	78	86	95	112	114	117	119	123	132	137	150	155
Teräs 10.9														
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	38	48	56	65	82	84	87	89	93	102	107	120	125
Lisämitta	$h_{lisä}$ (mm)	68	78	86	95	112	114	117	119	123	132	137	150	155

Taulukossa 20 on esitetty ankkurin pään mitta L_4 sekä teholliseen korkeuteen lisättävä pituus $h_{lisä}$ eri pulttikokojen ja teräslaatuojen kohdalla. Ankkurin kannan mitat määräytyivät Myllysen [60, liite B] laskelmien perusteella. Laskennan yksinkertaistamiseksi ankkurin kannan mitaksi valittiin ankkurityypin B mitta, joka oli aina ankkurityyppien välisistä mitoista suurempi. Lopullinen lisämitta $h_{lisä}$ saatiin lisäämällä ankkurin kannan mittaan 30 mm:ä. Tällä arvolla pyrittiin saamaan riittävä varmuus putken pituuden riittävyydelle, jotta ankkuri mahtuu putkeen toleranssien rajoissa missä tahansa tilanteessa. Samalla varmistettiin, että jälkivalumassa pääsee myös rakennebetonia käyttäessä täyttämään koko varauskOLON.

Liitteissä D ja E on taulukoitu varauskolojen lopullisia mittoja. Liite D koskee muottiputkia, jotka jäävät valuun. Liite E koskee poistettavia muotteja ja poraamalla tehtäviä varauskoloja.

6. SUUNNITTELUOHJE JA SUOSITELTAVAT ANKKUROUTIRATKAISUT

6.1 Suunnitteluohje

Tässä luvussa ehdotettu suunnitteluohje soveltuu vain vetorasituksen alaisena oleville yksittäisille ankkureille. Ohje ottaa huomioon ankkurin kartiomurron, ulosvetomurron ja yhdistetyn kartio- ja ulosvetomurron. Lohkeamismurto estetään asettamalla ankkurin vähintään etäisyyden $0,5h_{ef}$ päähän kaikista perusvalun reunoista. Halkeamismurto estetään raudoituksen avulla. Ohje soveltuu ainoastaan sementtipohjaisille jälkivalumassoille.

1. Laske ankkurin mitoituskestävyys kartiomurrolle

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} \quad N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{re,N}$$

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1,5} \quad \psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \frac{c_e}{c_{cr,N}} \leq 1$$

$$\psi_{re,N} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1 \quad c_{cr,N} = \frac{3}{2} h_{ef}$$

2. Laske ankkurin mitoituskestävyys ulosvetomurrolle käyttäen betonin lujuutena jälkivalumassa puristuskestävyyttä.

$$N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_{Mp}} \quad N_{Rk,p} = k_2 A_h f_{ck}$$

- a. Standardin EN 1504-3 mukaista jälkivalumassaa käytettäessä voidaan puristuslujuutena käyttää kyseisen tuotteen suoritustasoilmoituksen mukaista puristuslujuutta.
- b. Rakennebetonia käytettäessä puristuslujuutena käytetään eurokoodin mukaista lieriöpuristuskestävyyttä.

3. Laske ankkurin mitoituskestävyys yhdistetylle kartio- ja ulosvetomurrolle.

$$N_{Rd,pc} = \frac{N_{Rk,pc}}{\gamma_{Mp}} \quad N_{Rk,pc} = N_{Rk,p}^0 \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \psi_{s,Np} \psi_{re,N}$$

$$N_{Rk,p}^0 = \tau_{Rk} \pi d_h h_{ef} \quad \psi_{s,Np} = 0,7 + 0,3 \frac{c_e}{c_{cr,Np}} \leq 1$$

$$c_{cr,Np} = \frac{7,3}{2} d_h (\tau_{Rk,20})^{0,5} \leq \frac{3}{2} h_{ef}$$

- c. Standardin EN 1504-3 mukaista jälkivalumassaa käytettäessä voidaan tartuntalujuutena käyttää kyseisen tuotteen suoritustasoilmoituksen mukaista tartuntalujutta.
- d. Käytettäessä teräksisiä rakenteeseen lopullisesti jääviä poimutettuja muottiputkia tartuntalujuuden arvo on 0,8 MPa.
- e. Poistettavia muotteja ja porattavia varauskoloja käytettäessä tartuntalujutta arvioidaan kolon työsauman leikkauskestävyydellä. Kestävyys määräytyy pinnan karheuden mukaan standardin EN 1992-1-1 mukaisesti.

$$v_{Rki} = c f_{ctk,0,05} \leq 0,5 v f_{ck}$$

4. Valitse lisäraudoitukselle pinta-ala, ja määritä raudoituksen teräsmurtokestävyys. Määritä lisäksi riittävä halkaisija ja leikemäärä raudoitukselle, jotta ankkurointimurtoa ei synny.

$$N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$$

$$N_{Rk,re} = \sum_{i=1}^{n_{re}} A_{s,re,i} \cdot f_{yk,re}$$

$$N_{Rd,a} = \sum_{i=1}^{n_{re}} N_{Rd,a,i}^0$$

$$N_{Rd,a,i}^0 = \frac{l_1 \pi \phi_{re} f_{bd}}{\alpha_1 \alpha_2}$$

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$$

5. Määritä liitokselle riittävä pintaraudoitusala ankkurin halkeamismurron estämiseksi. Halkeamaleveys rajoitetaan 0,3 mm:iin. Huomioi lisäraudoitukselta tulevat vetovoimat laskennassa.

$$\sum A_{s,re} = k_4 \frac{\sum N_{Ed}}{f_{yk,re} / \gamma_{Ms,re}}$$

6. Varmista, että ankkurin teräsmurron mitoituskestävyys on heikoin kestävyyksistä sitkeän murtotavan varmistamiseksi.

7. Määritä mitoittava ankkuriin kohdistuva vetovoima.

8. Varmista, että mitoitusvoima on pienempi kuin ankkurin teräsmurron mitoituskestävyys.

6.2 Ankkurointiratkaisut

Tässä luvussa käsitellään laskennan tuloksia, ja valitaan sopivat ankkurointiratkaisut eri tilanteisiin. Tehollinen korkeus ohjaa ankkurointiratkaisun valintaa, sillä ratkaisut pyritään valitsemaan kustannukset huomioiden. Lisäksi ratkaisun valintaan vaikuttaa valmistamisen helppous ja asennusvirheiden korjaamisen mahdollisuudet.

Valuun jäävien muottiputkien osalta valintaa ei tarvitse tehdä, sillä jälkivalu ei vaikuttanut muotin mittoihin. Ankkurin ulosvetokapasiteetti on kuitenkin tarkistettava, ja sitä käsitellään myöhemmin tässä luvussa. Tilanteessa, jossa valumuotti poistetaan rakenteesta tai varauskolo valmistetaan poraamalla, jälkivalun tyyppi sekä kolon pinnan laatu vaikuttavat oleellisesti tarvittavaan teholliseen korkeuteen. Luvussa 5 tehtyjen laskelmien perusteella voidaan eritellä jokaiselle teräslaadulle ja betonilujuudelle ankkurointiliitoksen ominaisuudet, joilla saavutetaan lyhin mahdollisen tehollinen korkeus varauskololle.

Betonilujuuden ollessa C25/30 lyhimmat teholliset korkeudet saadaan käyttämällä R3- tai R4-luokan jälkivalumassaa, kun teräslatu on 4.6 tai 5.6. Teräsladun ollessa 8.8 lyhimmat korkeudet saadaan käyttämällä R4-luokan jälkivalumassaa. Myös 10.9-ladun pultteja käytettäessä R4-jälkivalumassa antaa lyhimmat teholliset korkeudet.

Betonilujuutta C30/37 käytettäessä tilanne on samanlainen. Teräsladuilla 4.6 ja 5.6 lyhyimmät korkeudet saadaan käyttämällä kumpaa tahansa jälkivalumassaa. Teräsladuilla 8.8 ja 10.9 lyhimmat korkeudet saadaan myös hammastamalla muottipinta.

Betonilujuuden C35/45 kohdalla R3-luokan jälkivalumassan käyttö ei enää anna lyhyimpiä tehollisia korkeuksia. Kaikkien teräslatujen kohdalla R4-luokan jälkivalumassa antaa lyhimmat teholliset korkeudet.

Jälkivalumassan käytöllä saadaan siis lyhimmat teholliset korkeudet, eli vaarnatun pinnan käyttö ei ole tämän perusteella suositeltavaa. Lisäksi R4-jälkivalumassaa käyttämällä voidaan varauskolo valmistaa sekä valumuotilla että poraamalla. Täten massan käyttö mahdollistaa myös joustavamman ja monipuolisemman kiinnityksen.

R4-luokan jälkivalumassan käyttö on myös takaa myös työmaalla sattuvien asennusvirheiden kannalta varmemman tuloksen. Vaarnattua pintaa käyttäessä täytyy varmistua siitä, että pinnan muodot todellakin täyttävät eurokoodissa asetetut tarkat vaatimukset. Jos vaatimukset eivät täyty, on muutoksia hankala tehdä perusvalun kovetettua. Jälkivalumassaa käytettäessä riittää, että pinnan laatu vastaa vähintään karhean pinnan tasoa. Siten ennen jälkivalua on mahdollista karhentaa pintaa, jos huomataan, ettei se vastaa standardien tasoa. Lisäksi pintaa ei voida työstää liian karheaksi, sillä ankkuriliitoksen kestävyys ainoastaan kasvaa jälkivalun tarttuessa paremmin kiinni perusvaluun.

Massan käyttö vaatii kuitenkin varauskolan seinämien pintakäsittelyn, joka saattaa olla tilanteesta riippuen työläämpää kuin vaarnatun muotin käyttö. Vaarnatun muotin asentaminen voi olla myös nopeampaa, kun käytetään esimerkiksi etukäteen valmistettuja standardin vaatiman geometrian omaavia muottiputkia. Samalla voidaan varmistua muotin oikeasta geometriasta.

Kuitenkaan aina ei ole mahdollista käyttää standardin geometriavaatimuksia täyttävää muottiputkea, joten R4-jälkivalumassan käyttö on suositeltavampaa. Näin saadaan ly-

hyimmät teholliset korkeudet, varmistetaan mahdollisuus asennusvirheiden korjaamiseen ja taataan ratkaisun käyttömahdollisuus ilman erityisosien käyttöä. Muottiputken mitat on esitetty liitteen D taulukoissa. Liitteessä E on esitetty varauskolon mitat R4-jäkivalua käytettäessä.

Tehollisen korkeuden lisäksi ankkurointiratkaisun valintaan vaikuttaa jälkivalun puristuslujuus. Edelliseen lukuun perustuen ankkurityyppejä 2 voi käyttää kaikilla teräslaaduilla R4-jälkivalun kanssa. Ankkurityyppejä 1 voi käyttää R4-valun kanssa vain laaduilla 4.6 ja 5.6. Jos tyyppiä 1 halutaan käyttää kestävämmillä teräslaaduilla, täytyy jälkivalu vaihtaa rakennebetoniksi. Tässä tapauksessa varauskolon tehollinen korkeus kuitenkin kasvaa, mikä johtaa suurempaa materiaalienekkiin ja mahdollisesti kalliimpiin ratkaisuihin.

Alla olevassa taulukossa 21 on koottu yhteen ankkurointiratkaisuiden ominaisuuksia, joilla saadaan liitokseen lyhimmät teholliset korkeudet kestävyyksien rajoissa. Ankkurityypin 1 kohdalla varauskolo voidaan toteuttaa heikoimmilla teräksen lujuuksilla muottittamalla tai poraamalla ja karhentamalla kovettuneen valun pinta. Teräslaaduilla 8.8 ja 10.9 varauskolo on toteutettava eurokoodin vaarnattua pintaa vastaavalla muotilla lyhyimmän tehollisen korkeuden saavuttamiseksi. Jälkivaluna voidaan käyttää heikoimmilla teräslaaduilla R4-jälkivalumassaa, mutta laadulla 8.8 jälkivalun on oltava rakennebetonia C70/85–C80/95. Teräslaadulla 10.9 jälkivalun on oltava luokkaa C90/105. Ankkurityypin 2 kohdalla kaikki varauskolot voidaan toteuttaa muottittamalla tai poraamalla ja karhentamalla. Siten jälkivalussa voidaan käyttää R4-luokan massaa. Kaikki tutkitut perusvalun lujuuDET sopivat molemmille ankkurityypeille.

Taulukko 21. Ankkurointiratkaisuja

Ankkuri	Ankkurityyppi 1				Ankkurityyppi 2			
	4.6	5.6	8.8	10.9	4.6	5.6	8.8	10.9
Perusvalu	C25/30–C35/40	C25/30–C35/40	C25/30–C35/40	C25/30–C35/40	C25/30–C35/40	C25/30–C35/40	C25/30–C35/40	C25/30–C35/40
Toteutus	Muotti tai poraus ja karhennus	Muotti tai poraus ja karhennus	Vaarnattua pintaa vastaava muotti	Vaarnattua pintaa vastaava muotti	Muotti tai poraus ja karhennus	Muotti tai poraus ja karhennus	Muotti tai poraus ja karhennus	Muotti tai poraus ja karhennus
Karhennus	Karhea	Karhea	Vaarnattu	Vaarnattu	Karhea	Karhea	Karhea	Karhea
Jälkivalu	R4	R4	C70/85–C80/95	C90/105	R4	R4	R4	R4

Tämän lisäksi ankkurointiliitos voidaan toteuttaa poimutetulla muottiputkella. Tällöin jälkivaluna voidaan käyttää joko rakennebetonia tai erillistä jälkivalumassaa, kunhan massa on sementtipohjainen. Siten työssä oletettu varauskolon rajapinnan leikkauslujuuden arvo pitää vielä paikkaansa. Ankkurityypin 1 kohdalla on jälkivalua valitessa kuitenkin edelleen noudatettava taulukon 21 mukaisia materiaaleja.

7. YHTEENVETO

Työssä selvitettiin varauskolollisen ankkuripulttiliitoksen laskentamenetelmiä ja tutkittiin liitoksen eri komponenttien vaikutusta. Liitoksessa käytettiin sementtipohjaista jälkivalumassaa, ja siihen kohdistui ainoastaan vetoa. Laskelmat tehtiin halkeilleelle betonille. Erityisesti selvitettiin, millä menetelmillä ja materiaaleilla saadaan lyhin mahdollinen tehollinen korkeus varauskololle.

Eurokoodin mukaiset laskentakaavojen sopiminen jälkivaletun ankkurin tilanteeseen oli epävarmaa, joten standardin mukaisia tuloksia vertailtiin muiden mitoitusmenetelmien kanssa. Vertailukohteina olivat Yhdysvalloissa yleisesti käytössä oleva ACI318-standardi sekä aikaisempien tutkimusten tuottamat laskentakaavat. Näistä ACI-standardin kaavat eivät myöskään suoraan sopineet varauskololliseen tilanteeseen, mutta tutkimustiedon kaavat koskivat nimenomaan työn tutkimuskohdetta. Teoreettisen laskentamallin avulla vertailtiin näitä kolmea eri menetelmää varauskolollisen ankkuroinnin mitoittamiseksi ja todettiin eurokoodin mukaisen menettelyn tuottavat konservatiivisimmat arvot. Täten eurokoodin mukainen mitoitus on hyväksyttävä tapa mitoittaa ankkurointiliitos. Suositellut mitoitusmenetelmät on taulukoituna liitteessä A.

Kun mitoitusmenetelmä oli selvitetty, tutkittiin ankkurointiliitoksen komponenttien vaikutusta liitokseen. Ankkurointiliitoksessa käytettiin kahta erilaista ankkurityyppiä: mutterikantaista ankkuria ja ankkuria, jonka päässä oli ankkurointilevy. Koska varauskolon halkaisijan mitat oli määritetty ennalta jokaiselle pulttikoolle, muodostui tehollisesta korkeudesta tarkasteltava ominaisuus. Tutkimus tehtiin rakenteeseen jäävälle poimutulle muottiputkelle sekä varauskololle, joka tehtiin poistettavalla muotilla tai poraamalla ja karhentamalla pinta.

Ensimmäiseksi tarkasteltiin varauskoloja, jotka valmistetaan rakenteeseen jäävällä muottiputkella. Tehollisen korkeuden arvot eivät riippuneet käytettävästä jälkivalusta tai ankkurityypistä, sillä teräksen ja sementtipohjaisen jälkivalun välinen tartuntalujuus oli vakio. Saatuja tuloksia voitiin kuitenkin vertailla Suomessa voimassa olevan kansallisen standardin SFS 4632 arvioihin, ja näin todeta mitoitusmenetelmien tuottaneen luotettavia tuloksia.

Seuraavaksi tarkasteltiin varauskoloja, jotka tehtiin poistettavalla muotilla tai poraamalla. Lyhimät teholliset korkeudet saatiin ankkurityypin 1 tapauksessa joko käyttämällä jälkivaluna R4-luokan jälkivalumassaa (teräslaaduilla 4.6 ja 5.6) tai vaarnaamalla varauskolon pinta ja käyttämällä korkealujuista rakennebetonia jälkivalussa (teräslaadut

8.8 ja 10.9). Ankkurityypin 2 kohdalla lyhimät teholliset korkeudet saatiin käyttämällä R4-luokan jälkivalumassaa. Teholliset korkeudet on taulukoituna liitteessä B.

Tehollisten korkeuksien määrittämisen jälkeen laskettiin lopulliset varauskolojen korkeudet. Korkeudessa huomioitiin ankkurin kannan pituus sekä asennustoleranssit, millä varmistettiin ankkurin mahtuminen varauskoloon. Lopulliset varauskolojen korkeudet on taulukoituna liitteissä D ja E.

Työn aikana huomattiin, että useassa kohdassa jouduttiin tekemään oletuksia ankkurointiin liittyvän käyttäytymisestä. Lisätutkimusaiheita olisivat esimerkiksi poimutetun muotitiputken tartuntalujuus perus- ja jälkivaluun ja R3- ja R4- luokkien puristuslujuuden vertailu lieriölujuuteen. Laskentaoletusten paikkaansa pitävyyttä voitaisiin tutkia myös kokeellisesti ja selvittää, miten tarkasti ne kuvaavat todellisia tilanteita. Työn rajauksista johtuen ankkuriin kohdistuvia leikkausvoimia ei tutkittu. Näiden voimien sekä yhdistettyjen veto- ja leikkausvoimien alaisena olevat ankkurit olisivat myös hyviä jatkotutkimuskohteita.

LÄHTEET

- [1] SFS 4632. Laiteperustukset. Perustusruuvi. Tyypä A. Helsinki 1993, Suomen standardoimisliitto SFS ry. 5 s.
- [2] 1.3. Anchoring Set for Foundations. 2016, Robusta-Gaukel. 12 s.
- [3] SFS-EN 1992-4:2018. Eurodoce 2: Design of concrete structures. Part 4: Design of fastenings for use in concrete. Helsinki 2018, Suomen standardoimisliitto SFS ry. 127 s.
- [4] Subramanian, N. ja Cook, R. Behaviour of grouted anchors. The Indian Concrete Journal 2004, s. 1-8.
- [5] Zamora, N., Cook, R., Konz, R. ja Consolazio G. Behavior and Design of Single, Headed and Unheaded Grouted Anchors under Tensile Load. ACI Structural Journal 100(2003)2, s. 222–230.
- [6] Eligehausen, R., Mallée, R. ja Silva, F. Anchorage in Concrete Construction. 2006, Ernst & Sohn. 391 s.
- [7] Eligehausen, R., Hofacker, I. ja Lettow, S., Fastening technique – Current Status and Future Trends, Connections Between Steel And Concrete. 2001, RILEM Publications SARL, s. 11–30. Saatavissa: <http://demo.webdefy.com/rilem-new/wp-content/uploads/2016/10/pro021-002.pdf>
- [8] ACI 318M-14. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary (ACI 318RM-14). 2015, American Concrete Institute (ACI). 519 s.
- [9] Lee, N., Moon, I. ja Ju, I. Failure Mechanism for Large-Sized Grouted Anchor Bolt under Tensile Load. Washington DC 2001, International Association for Structural Mechanics in Reactor Technology (IASMiRT). 6 s.
- [10] 2.1. Non-recoverable Casings. Casings for Cut Outs, L-form, Tubes for Cut Outs. 2016, Robusta-Gaukel. 12 s.
- [11] Expanded Polystyrene. The Concrete Society [viitattu 14.3.2019]. Saatavissa: <http://www.concrete.org.uk/fingertips-nuggets.asp?cmd=display&id=340>
- [12] Rush, L. What is the most cost-effective concrete block-out material? 2013, Universal Construction Foam [viitattu 14.3.2019]. Saatavissa: <http://www.universalconstructionfoam.com/pastprojects/what-is-the-most-cost-effective-concrete-block-out-material/>

- [13] Koivisto, M. Oodi on betoni-, teräs-, puu- ja lasirakentamisen taidonnäyte. *Betoni* 89(2019)1, s. 24–35.
- [14] SFS 4633. Laiteperustukset. Perustusruuvi. Tyyppi B. Helsinki 1993, Suomen standardoimisliitto SFS ry. 5 s
- [15] SFS 4634. Laiteperustukset. Perustusruuvi. Tyyppi C. Helsinki 1993, Suomen standardoimisliitto SFS ry. 4 s.
- [16] DIN-529. Steinschrauben. Berliini 1972, Beuth-Vertrieb. 3s.
- [17] Kodur, V., Yahyai, M., Rezaeian, A., Eslami, M. ja Poormohamadi, A. Residual mechanical properties of high strength steel bolts subjected to heating-cooling cycle. *Journal of Constructional Steel Research* 131(2017), s. 122-131.
- [18] Anchor Bolts. Banden Steelbar & Bolt Corp. [viitattu: 27.3.2019]. Saatavissa: <http://www.badensteel.com/anchor-bolts>
- [19] ATP ja AHP Harjateräspultit. Käyttöohje. 2017, Anstar, 37 s. Saatavissa: https://www.anstar.fi/wp-content/uploads/2018/11/ATP_AHP_Harjater%C3%A4spultit_K%C3%A4ytt%C3%B6ohje_2018.pdf
- [20] HPM-harjateräspultit. 2019, Peikko Group [viitattu 26.3.2019]. Saatavissa: <https://www.peikko.fi/tuotteet/tuote/hpm-harjateraspultit/technical-information/>
- [21] Pultit ja kengät. Anstar [viitattu 26.3.2019]. Saatavissa: <https://www.anstar.fi/tuotteet/pultit-ja-kengat/>
- [22] SFS-EN 1504-6. Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Määritelmät, vaatimukset, laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden arviointi. Osa 6: Betoniterästen ankkurointi. Helsinki 2006, Suomen standardoimisliitto SFS ry. 18 s.
- [23] Wander, S. Tunnel of Terror. *System Failure Case Studies* 2(2008)5, s. 1–4.
- [24] Bruen, M., Pansic, N. ja Schwartz, M. Creeping Suspicion. *Civil Engineering* 66(1996)5, s. 60–63.
- [25] Yang, M., Zhao, Y. ja Zhang, N. Creep behavior of epoxy-bonded anchor system. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 67(2014), s. 96–103.
- [26] Brungraber, G. Creep Testing of Epoxy-Bonded Reinforcing Bar Couplers. *ACI Materials Journal* 109(2012)5, s. 499–501.

- [27] Lahouar, M., Caron, J., Pinoteau, N., Forêt, G. ja Benzarti, K. Mechanical behavior of adhesive anchors under high temperature exposure: Experimental investigation. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 78(2017), s. 200–211.
- [28] Reis, J. Effect of temperature on the mechanical properties of polymer mortars. *Materials Research* 15(2012)4, s. 645–649. Saatavissa.
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392012000400024
- [29] SFS-EN 1504-3. Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Määritelmät, vaatimukset, laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden arviointi. Osa 3: Rakenteellinen ja ei-rakenteellinen korjaus. Helsinki 2006, Suomen standardoimisliitto SFS ry. 25 s.
- [30] Leskelä, M. By 210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008. Helsinki 2008, Suomen betoniyhdistys r.y. 711 s.
- [31] fib Bulletin 58: Design of anchorages in concrete. 2011, Fédération internationale du béton (fib).
- [32] Cook, R., Kunz, J., Fuchs, W. ja Konz, R. Behavior and Design of Single Adhesive Anchors under Tensile Load in Uncracked Concrete. *ACI Structural Journal* 95(1998)1, s. 9–26.
- [33] Ray, J., De la Guardia, C. ja McCreary Jr., C. Strength of Epoxy-Grouted Anchor Bolts in Concrete. *Journal of Structural Engineering* 113(1987)12, s. 2365–2381.
- [34] SFS-EN 1992-1-1. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki 2015, Suomen standardoimisliitto SFS ry. 220 s.
- [35] Burtz, J. Behavior and design of grouted anchors loaded in tension including edge and group effects and qualification of engineered grout products. Päättötyö. Florida 2003, University of Florida. 97 s.
- [36] Miltenberger, M. Capacity Design of Grouted Anchors. Washington DC 2001, International Association for Structural Mechanics in Reactor Technology (IASMiRT). 8 s.
- [37] Eligehausen, R. ja Balogh T. Behavior of Fasteners Loaded in Tension in Cracked Reinforced Concrete. *ACI Structural Journal* 92(1995)3, s. 365–379.

- [38] Lee, N., Lee, H., Park, K., Kim, K. ja Ju, Y. Behavior of Large Anchor in Tension in Unreinforced/Reinforced Concrete. 2 s.
- [39] Santos, P. Assessment of the Shear Strength between Concrete Layers. Väitöskirja. Coimbra 2009, Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. 338 s.
- [40] Randl, N. Investigations on transfer of forces between old and new concrete at different joint roughness. Väitöskirja. Itävalta 1997, University of Innsbruck, 379 p.
- [41] Santos, P. ja Júlio, E. Interface Shear Transfer on Composite Concrete Members. ACI Structural Journal 111(2014)1, s. 113-121.
- [42] Birkeland, P. ja Birkeland, H. Connections on precast concrete construction. Journal of the American Concrete Institute 63(1966)3, s. 345-368.
- [43] Shaikh, A. Proposed revisions to shear-friction provisions. PCI Journal 23(1978)2, s. 12-21.
- [44] Santos, P. ja Júlio E. A state-of-the-art review on shear-friction. Engineering Structures 45(2012), s. 435-448.
- [45] Mast, R. Auxiliary reinforcement in precast concrete connections. ASCE Journal Structural Division 94(1968)6, s. 1485-1504.
- [46] Santos, P. ja Júlio, E. Factors Affecting Bond between New and Old Concrete. ACI Materials Journal 109(2012)3, s. 449-456.
- [47] European Assessment Document – EAD 330499-00-0601: Bonded Fasteners for Use in Concrete. 2017, European Organization for Technical Approvals (EOTA). 59 s
- [48] Rakenteiden lujuus ja vakaus. Betonirakenteet. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki 2016, Ympäristöministeriö. 35 s.
- [49] fib Model Code for Concrete Structures 2010. 2013, Fédération internationale du béton (fib). 434 s.
- [50] prEN 1992-1-1 2017-10. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1.1: General rules, rules for building, bridges and civil engineering structures. 2017, Comité Européen de Normalisation (CEN). 286 s.
- [51] CEN/TC 250/SC 2 N 1280. Background documents to the second interim draft prEN 1992-1-1:2017-10. 2017, Comité Européen de Normalisation (CEN). 192 s.

- [52] PIP STE05121. Anchor Bolt Design Guide. 2006, Process Industry Practices (PIP). 55 s.
- [53] SFS-EN 10025. Kuumavalssatut rakenneteräkset. Helsinki 2004, Suomen standardoimisliitto SFS ry.
- [54] Pellosniemi, J. ja Kalamies, U. Teräsrakennetuotteet ja suositeltavat teräslajit. Rakennustieto [viitattu 14.3.2019]. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010406.pdf>
- [55] By 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. Helsinki 2018, Suomen Betoniyhdistys ry. 568 s.
- [56] SFS-EN 1766. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Reference concretes for testing. Helsinki 2017, Suomen standardoimisliitto SFS ry. 14 s.
- [57] SFS-EN 12190. Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Testausmenetelmät. Korjauslaastin puristuslujuuden määrittäminen. Helsinki 1999, Suomen standardoimisliitto SFS ry. 10 s.
- [58] SFS-EN 196-1. Methods of testing cement. Part 1: Determination of strength. Helsinki 2016, Suomen standardoimisliitto SFS ry. 34 s.
- [59] SFS-EN 1542. Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Testausmenetelmät. Tartuntalujuuden mittaaminen vetokokeella. Helsinki 1999, Suomen standardoimisliitto SFS ry. 10 s.
- [60] Myllynen, Kalle. Yleiskäyttöisten teollisuusrakentamiseen tarkoitettujen peruspulttien tekniset ominaisuudet. Diplomityö. Tampere 2018, Tampereen teknillinen yliopisto. 101 s.

LIITE A: SUOSITELTAVAT MITOITUSMENETELMÄT

Murtotapa	Mitoituskestävyys
Kartiomurto (concrete cone failure)	$N_{Rd,c} = \frac{1}{\gamma_{Mc}} N_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{re,N}$
Ulosvetomurto (pull-out failure)	$N_{Rd,p} = \frac{1}{\gamma_{Mp}} k_2 A_h f_{ck}$
Yhdistetty kartio- ja ulosvetomurto (combined concrete and pull-out failure)	$N_{Rd,pc} = \frac{1}{\gamma_{Mp}} N_{Rk,p}^0 \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \psi_{s,Np} \psi_{re,N}$
Halkeamismurto (splitting failure)	Eurokoodin EN 1992-4 mukainen vähimmäis-raudoitusala
Lohkeamismurto (blowout failure)	Ei tarvitse tarkastella, jos $c_e \geq 0,5h_{ef}$
Työsauman leikkausmurto	$v_{Rdi} = c f_{ctd} \leq 0,5 v f_{cd}$

Menetelmät tarkoitettu tilanteeseen, jossa lyhin reunaetäisyys $c_e \geq 0,5h_{ef}$ ja ankkuriin kohdistuu vain vetorasitus.

LIITE B: TEHOLLISIA KORKEUKSIA

Taulukko B.1. Tehollisia korkeuksia, kun perusvalu on C25/30

Koko	M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
Teräs 4.6 / tehollinen korkeus h_{ef} (mm)													
Muottiputki osana rakenetta	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
Karhea pinta	250	250	350	400	450	450	550	600	600	700	700	750	850
Vaarnattu pinta	200	200	300	350	400	400	450	500	500	550	600	650	700
Jälkivalu R3	150	150	200	250	350	400	400	450	500	550	600	650	700
Jälkivalu R4	150	150	200	250	350	400	400	450	500	550	600	650	700
Teräs 5.6 / tehollinen korkeus h_{ef} (mm)													
Muottiputki osana rakenetta	250	250	400	450	500	500	600	700	700	800	800	850	900
Karhea pinta	300	300	400	500	600	600	650	750	750	850	900	900	1050
Vaarnattu pinta	250	250	350	400	450	450	550	600	600	700	700	750	850
Jälkivalu R3	150	200	250	300	400	450	500	500	600	650	700	750	850
Jälkivalu R4	150	200	250	300	400	450	500	500	600	650	700	750	850
Teräs 8.8 / tehollinen korkeus h_{ef} (mm)													
Muottiputki osana rakenetta	550	550	800	950	1100	1100	1250	1450	1450	1650	1700	1800	1950
Karhea pinta	600	600	850	1050	1200	1200	1350	1600	1550	1850	1850	1900	2150
Vaarnattu pinta	450	500	700	850	950	950	1100	1300	1300	1450	1500	1550	1750
Jälkivalu R3	300	300	450	500	650	700	750	850	900	1050	1150	1250	1350
Jälkivalu R4	250	300	350	500	650	700	750	850	900	1050	1150	1250	1350
Teräs 10.9 / tehollinen korkeus h_{ef} (mm)													
Muottiputki osana rakenetta	700	750	1050	1300	1500	1500	-	-	-	-	-	-	-
Karhea pinta	800	800	1150	1350	1600	1600	-	-	-	-	-	-	-
Vaarnattu pinta	650	650	950	1100	1300	1300	-	-	-	-	-	-	-
Jälkivalu R3	400	400	550	650	800	850	-	-	-	-	-	-	-
Jälkivalu R4	300	350	450	600	750	850	-	-	-	-	-	-	-

Taulukko B.2. Tehollisia korkeuksia, kun perusvalu on C30/37

Koko	M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
Teräs 4.6 / tehollinen korkeus h_{ef} (mm)													
Muottiputki osana rakenetta	200	200	300	350	400	400	500	550	550	650	650	700	750
Karhea pinta	200	200	300	350	400	400	450	550	550	650	650	650	750
Vaarnattu pinta	150	200	250	300	350	350	400	450	450	500	550	650	700
Jälkivalu R3	150	150	200	250	300	350	400	450	450	500	550	650	700
Jälkivalu R4	100	150	200	250	300	350	400	450	450	500	550	650	700
Teräs 5.6 / tehollinen korkeus h_{ef} (mm)													
Muottiputki osana rakenetta	250	250	400	450	500	500	600	700	700	800	800	850	900
Karhea pinta	250	250	350	400	450	450	550	600	600	700	700	750	850
Vaarnattu pinta	200	200	350	350	400	400	450	550	550	600	650	700	800
Jälkivalu R3	150	200	200	300	350	400	450	500	550	600	650	700	800
Jälkivalu R4	150	200	200	300	350	400	450	500	550	600	650	700	800
Teräs 8.8 / tehollinen korkeus h_{ef} (mm)													
Muottiputki osana rakenetta	550	550	800	950	1100	1100	1300	1500	1500	1700	1750	1800	2000
Karhea pinta	500	550	800	900	1100	1100	1200	1400	1400	1650	1650	1700	1900
Vaarnattu pinta	400	450	600	750	850	850	1000	1150	1150	1300	1300	1350	1550
Jälkivalu R3	300	300	450	500	600	650	750	800	850	950	1050	1200	1300
Jälkivalu R4	250	300	350	450	600	650	750	800	850	1000	1050	1200	1300
Teräs 10.9 / tehollinen korkeus h_{ef} (mm)													
Muottiputki osana rakenetta	700	750	1050	1300	1500	1500	-	-	-	-	-	-	-
Karhea pinta	700	700	1050	1200	1400	1400	-	-	-	-	-	-	-
Vaarnattu pinta	550	600	850	1000	1150	1150	-	-	-	-	-	-	-
Jälkivalu R3	400	400	550	650	800	800	-	-	-	-	-	-	-
Jälkivalu R4	300	350	450	550	700	800	-	-	-	-	-	-	-

Taulukko B.3. Tehollisia korkeuksia, kun perusvalu on C35/45

Koko	M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
Teräs 4.6 / tehollinen korkeus h_{ef} (mm)													
Muottiputki osana rakenetta	200	200	300	350	400	400	450	550	550	650	650	650	750
Karhea pinta	200	200	300	350	400	400	450	500	500	550	600	600	650
Vaarnattu pinta	150	150	250	250	300	300	350	400	450	500	600	600	650
Jälkivalu R3	150	150	200	250	300	350	350	400	450	500	550	600	650
Jälkivalu R4	100	150	200	250	300	350	350	400	450	500	550	600	650
Teräs 5.6 / tehollinen korkeus h_{ef} (mm)													
Muottiputki osana rakenetta	250	250	400	450	500	500	600	700	700	800	800	850	900
Karhea pinta	250	250	350	400	450	450	550	600	600	700	700	750	850
Vaarnattu pinta	250	250	400	450	500	500	600	700	700	800	800	850	900
Jälkivalu R3	150	150	200	300	350	400	450	450	500	550	600	700	750
Jälkivalu R4	150	150	200	300	350	400	450	450	500	550	600	700	750
Teräs 8.8 / tehollinen korkeus h_{ef} (mm)													
Muottiputki osana rakenetta	500	550	800	900	1100	1100	1250	1450	1450	1650	1700	1800	1950
Karhea pinta	500	550	800	900	1100	1100	1200	1400	1400	1650	1650	1700	1900
Vaarnattu pinta	400	400	550	650	800	800	900	1050	1050	1200	1200	1250	1400
Jälkivalu R3	300	300	450	500	600	650	700	750	850	950	1000	1100	1200
Jälkivalu R4	250	250	350	450	550	650	700	750	850	950	1000	1100	1200
Teräs 10.9 / tehollinen korkeus h_{ef} (mm)													
Muottiputki osana rakenetta	700	750	1050	1200	1400	1500	-	-	-	-	-	-	-
Karhea pinta	700	700	1050	1200	1400	1400	-	-	-	-	-	-	-
Vaarnattu pinta	500	550	750	900	1050	1050	-	-	-	-	-	-	-
Jälkivalu R3	400	400	550	650	800	800	-	-	-	-	-	-	-
Jälkivalu R4	300	300	450	550	700	750	-	-	-	-	-	-	-

LIITE C: LISÄRAUDOITUS

Taulukko C.1. *Lisäraudoituksen halkaisija ja leikemäärä vaarnatulla pinnalla*

Koko	M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
C25/30 / halkaisija ϕ_{re} (mm) + leikkeiden lkm													
4.6	8+4	8+8	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12
C30/37 / halkaisija ϕ_{re} (mm) + leikkeiden lkm													
4.6	8+4	8+4	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+8	16+8	16+8
5.6	8+4	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12
C35/45 / halkaisija ϕ_{re} (mm) + leikkeiden lkm													
4.6	8+4	8+8	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+8	16+8	16+8
5.6	8+4	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12

Taulukko C.2. *Lisäraudoituksen halkaisija ja leikemäärä R3-jälkivalulla*

Koko	M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
C25/30 / halkaisija ϕ_{re} (mm) + leikkeiden lkm													
4.6	8+8	8+8	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12
5.6	8+8	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	16+8	16+12	16+12	16+12	16+12	16+12	16+12
8.8	8+8	8+8	10+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12	16+12	16+12	16+16	16+16	16+16
10.9	8+8	10+8	10+8	16+8	16+12	16+12	-	-	-	-	-	-	-
C30/37 / halkaisija ϕ_{re} (mm) + leikkeiden lkm													
4.6	8+4	8+8	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+8	16+8	16+12
5.6	8+8	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12
8.8	8+4	8+8	10+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12	16+12	16+12	16+16	16+16	16+16
10.9	8+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+12	-	-	-	-	-	-	-
C35/45 / halkaisija ϕ_{re} (mm) + leikkeiden lkm													
4.6	8+4	8+8	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+8	16+8	16+8
5.6	8+8	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12
8.8	8+4	8+8	10+8	16+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12	16+12	16+16	16+16	16+16

Taulukko C.3. *Lisäraudoituksen halkaisija ja leikemäärä R4-jälkivalulla*

Koko	M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
C25/30 / halkaisija ϕ_{re} (mm) + leikkeiden lkm													
4.6	8+8	8+8	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12
5.6	8+8	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	16+8	16+12	16+12	16+12	16+12	16+12	16+12
8.8	8+8	8+8	10+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12	16+12	16+12	16+16	16+16	16+16
10.9	8+8	10+8	10+8	16+8	16+12	16+12	-	-	-	-	-	-	-
C30/37 / halkaisija ϕ_{re} (mm) + leikkeiden lkm													
4.6	8+12	8+12	8+12	8+12	8+12	8+12	8+12	10+12	10+12	10+12	16+12	16+12	16+12
5.6	8+8	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12
8.8	8+8	8+8	10+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12	16+12	16+12	16+16	16+16	16+16
10.9	8+8	10+8	10+8	16+8	16+12	16+12	-	-	-	-	-	-	-
C35/45 / halkaisija ϕ_{re} (mm) + leikkeiden lkm													
4.6	8+12	8+12	8+12	8+12	8+12	8+12	8+12	10+12	10+12	10+12	16+12	16+12	16+12
5.6	8+8	8+8	8+8	8+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12
8.8	8+8	8+8	10+8	16+8	16+8	16+8	16+12	16+12	16+12	16+12	16+16	16+16	16+16
10.9	8+8	10+8	10+8	16+8	16+8	16+12	-	-	-	-	-	-	-

LIITE D: RAKENTEESEEN JÄÄVÄN MUOTTIPUTKEN MITAT

Taulukko D.1. Muottiputken mitat, kun perusvalu on C25/30

Koko		M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
Teräs 4.6														
Hal-kaisija	D (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	33	38	44	52	59	64	70	72	78	84	89	95	33
Putken pituus	h_{tot} (mm)	263	318	374	432	489	544	600	652	708	764	819	875	930
Teräs 5.6														
Hal-kaisija	D (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	33	38	44	52	59	64	70	72	78	84	89	95	33
Putken pituus	h_{tot} (mm)	313	318	474	532	589	594	700	802	808	914	919	975	1030
Teräs 8.8														
Hal-kaisija	D (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	38	48	56	65	82	84	87	89	93	102	107	120	125
Putken pituus	h_{tot} (mm)	618	628	886	1045	1212	1214	1367	1569	1573	1782	1837	1950	2105
Teräs 10.9														
Hal-kaisija	D (mm)	100	150	150	200	250	300	-	-	-	-	-	-	-
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	38	48	56	65	82	84	87	89	93	102	107	120	125
Putken pituus	h_{tot} (mm)	768	828	1136	1395	1612	1614	-	-	-	-	-	-	-

Taulukko D.2. *Muottiputken mitat, kun perusvalu on C30/37*

Koko		M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
Teräs 4.6														
Hal-kaisija	D (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	33	38	44	52	59	64	70	72	78	84	89	95	33
Putken pituus	h_{tot} (mm)	263	268	374	432	489	494	600	652	658	764	769	825	880
Teräs 5.6														
Hal-kaisija	D (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	33	38	44	52	59	64	70	72	78	84	89	95	33
Putken pituus	h_{tot} (mm)	313	318	474	532	589	594	700	802	808	914	919	975	1030
Teräs 8.8														
Hal-kaisija	D (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	38	48	56	65	82	84	87	89	93	102	107	120	125
Putken pituus	h_{tot} (mm)	618	628	886	1045	1212	1214	1417	1619	1623	1832	1887	1950	2155
Teräs 10.9														
Hal-kaisija	D (mm)	100	150	150	200	250	300	-	-	-	-	-	-	-
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	38	48	56	65	82	84	87	89	93	102	107	120	125
Putken pituus	h_{tot} (mm)	768	828	1136	1395	1612	1614	-	-	-	-	-	-	-

Taulukko D.3. *Muottiputken mitat, kun perusvalu on C35/45*

Koko		M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
Teräs 4.6														
Hal-kaisija	D (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	33	38	44	52	59	64	70	72	78	84	89	95	33
Putken pituus	h_{tot} (mm)	263	268	374	432	489	494	550	652	658	764	769	775	880
Teräs 5.6														
Hal-kaisija	D (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	33	38	44	52	59	64	70	72	78	84	89	95	33
Putken pituus	h_{tot} (mm)	313	318	474	532	589	594	700	802	808	914	919	975	1030
Teräs 8.8														
Hal-kaisija	D (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	38	48	56	65	82	84	87	89	93	102	107	120	125
Putken pituus	h_{tot} (mm)	568	628	886	995	1212	1214	1367	1569	1573	1782	1837	1950	2105
Teräs 10.9														
Hal-kaisija	D (mm)	100	150	150	200	250	300	-	-	-	-	-	-	-
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	38	48	56	65	82	84	87	89	93	102	107	120	125
Putken pituus	h_{tot} (mm)	768	828	1136	1295	1512	1614	-	-	-	-	-	-	-

Taulukko E.2. *Varauskolon mitat, kun perusvalu on C30/37 ja käytetty jälkivalu kuuluu R4-luokkaan*

Koko		M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
Teräs 4.6														
Hal-kaisija	d_0 (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	33	38	44	52	59	64	70	72	78	84	89	95	33
Putken pituus	h_{tot} (mm)	163	218	274	332	389	444	500	552	558	614	669	775	830
Teräs 5.6														
Hal-kaisija	d_0 (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	33	38	44	52	59	64	70	72	78	84	89	95	33
Putken pituus	h_{tot} (mm)	213	268	274	382	439	494	550	602	658	714	769	825	930
Teräs 8.8														
Hal-kaisija	d_0 (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	38	48	56	65	82	84	87	89	93	102	107	120	125
Putken pituus	h_{tot} (mm)	318	378	436	545	712	764	867	919	973	1132	1187	1350	1455
Teräs 10.9														
Hal-kaisija	d_0 (mm)	100	150	150	200	250	300	-	-	-	-	-	-	-
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	38	48	56	65	82	84	87	89	93	102	107	120	125
Putken pituus	h_{tot} (mm)	368	428	536	645	812	914	-	-	-	-	-	-	-

Taulukko E.3. *Varauskolon mitat, kun perusvalu on C35/45 ja käytetty jälkivalu kuuluu R4-luokkaan*

Koko		M16	M20	M24	M30	M36	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64
Teräs 4.6														
Hal-kaisija	d_0 (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	33	38	44	52	59	64	70	72	78	84	89	95	33
Putken pituus	h_{tot} (mm)	163	218	274	332	389	444	450	502	558	614	669	725	780
Teräs 5.6														
Hal-kaisija	d_0 (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	33	38	44	52	59	64	70	72	78	84	89	95	33
Putken pituus	h_{tot} (mm)	213	218	274	382	439	494	550	552	608	664	719	825	880
Teräs 8.8														
Hal-kaisija	d_0 (mm)	100	150	150	200	250	300	300	300	350	350	400	450	450
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	38	48	56	65	82	84	87	89	93	102	107	120	125
Putken pituus	h_{tot} (mm)	318	328	436	545	662	764	817	869	973	1082	1137	1250	1355
Teräs 10.9														
Hal-kaisija	d_0 (mm)	100	150	150	200	250	300	-	-	-	-	-	-	-
Pultin pään pituus	L_4 (mm)	38	48	56	65	82	84	87	89	93	102	107	120	125
Putken pituus	h_{tot} (mm)	368	378	536	645	812	864	-	-	-	-	-	-	-